4/7

De bouw van meet-apparatuur

Algemeen

Analoge meters

Digitale meters

Digitale testers

Educatieve apparatuur

Hoogfrequent apparatuur

Laagfrequent apparatuur

Signaalgeneratoren

4/7.1

VHF/UHF-hoogfrequentgenerator met AM- en FM-modulatie

De in deze paragraaf besproken generator is opgebouwd uit twee gescheiden delen:

a) een hoogfrequentgenerator met een aaneengesloten bereik van 100 kHz tot 30 MHz en waarvan men het uitgangssignaal in amplitude kan moduleren;
b) een VHF/UHF-generator die de banden I, II, III en V bestrijkt en in frequentie kan worden gemoduleerd. Bovendien kan men de frequentie van de generator over een volledige band laten sweepen.

HF-Generator

De HF-generator is opgebouwd uit twee met FET's samengestelde oscillatoren, die in geaarde drain zijn geschakeld. De in het schema van figuur 1 als bovenste getekende oscillator bestrijkt het frequentie-gebied van 100 kHz tot ongeveer 2,5 MHz. De onderste oscillator neemt het gebied tussen 1,8 MHz en 30 MHz voor zijn rekening. Het frequentiegebied wordt ingesteld door de selectie van een spoel, die in de gate-kring wordt opgenomen. Wordt geen spoel ingeschakeld, dan zal de oscillator niet oscilleren en dit is dus een zeer handige methode om door middel van een twee-deks schakelaar om te schakelen tussen de ene en de andere schakeling. Naast de bereiken-omschakelaar is iedere oscillator uitgerust met een draaibare condensator, opgenomen in de gate-kring. Met deze condensatoren, die door middel van één as worden bediend, kan men de frequentie in het gekozen gebied instellen. Iedere oscillator wordt afgesloten met een emitter-volger, die ervoor zorgt dat de gevoelige oscillator-schakelingen niet worden beinvloed door de erop volgende elektronica.

De uitgangssignalen van de emittervolgers worden met elkaar gemengd en aangeboden aan de met een MOS-FET opgebouwde eindtrap. De twee weerstanden van 390 Ohm, opgenomen tussen de uitgangen van de emitter-volgers en de gate van de MOSFET, zijn zeer belangrijk, zorgen voor de ontkoppeling tussen de diverse trappen en moeten met zo kort mogelijke draadeinden rechtstreeks aan de condensatoren van 1 nF worden vast gesoldeerd.
De weerstanden van 47 en van 33 Ohm, respectievelijk geschakeld in de gate-leiding van de MOSFET en in de emitterleiding van de BC237, onderdrukken eventueel optredende zeer hoogfrequente oscillaties en moeten zo dicht mogelijk tegen het transistor-lichaam worden gesoldeerd.

7.1 Een VHF/UHF hoogfrequentgenerator met AM- en FM-modulatie

Op de uitgang van de MOSFET-trap staat een signaal met een amplitude van ongeveer 500 mV ter beschikking. Dit signaal wordt door middel van de resistieve spanningsdeler (560-33) teruggebracht tot ongeveer 20 mV en via een afzonderlijk HF-chassisdeel naar buiten gebracht.

Voor het in amplitude moduleren van de draaggolf past men een oud, maar niet zo bekend grapje toe. Varieert men de voedingsspanning van een oscillator, dan zal ook de amplitude van de uitgangsspanning veranderen! De variatie van de voedingsspanning wordt verzorgd door de BC237 transistor, die wordt gestuurd uit een met behulp van een operationele versterker en transistor opgebouwde laagfrequent oscillator.
Door middel van een tuimel-schakelaar kan men deze oscillator uitschakelen en een extern modulatie-signaal toevoeren.
De grootte van de modulatie wordt ingesteld door middel van de potentiometer van 100 k-Ohm, in de basis van de BC237.
Met deze schakeling kan men de modulatie-factor instellen tussen 0 en 30%.

VHF/UHF-generator

Ook bij deze schakeling, getekend in figuur 2, worden twee afzonderlijke generatoren toegepast. De bovenste schakeling wordt gebruikt voor de banden I tot en met III, de onderste bestrijkt band V. De eerstgenoemde oscillator werkt in geaarde basis-schakeling. De frequentie-bepalende elementen zijn in de kollektor opgenomen. Naast de noodzakelijke spoelen treft men een varicap diode aan, waarmee de fijnafstemming van de frequentie wordt verzorgd. De drie bandbepalende spoelen staan in serie en worden door middel van een elektronische schakeling in- of uitgeschakeld. De werking is uiterst eenvoudig. De twee dioden BA182 worden door middel van de schakelaar met de +12 V voedingsspanning verbonden en gaan geleiden. Door ofwel een, ofwel beide, ofwel geen diode in geleiding te sturen kan men ofwel L26, ofwel L26 in serie met L27 ofwel L26 in serie met L27 en L28 als oscillator-kring in het schema opnemen. De afstemspanning wordt opgewekt met behulp van een operationele versterker van het type 741. Deze vormt een eenvoudige optel-schakeling, die de modulatie-spanning optelt bij een instelspanning en de som van beide naar de katode van de varicap-diode BB205 stuurt.
Wijzigt men de modulatie-spanning, dan wordt de regelspanning voor de varicap ook gewijzigd en deze zal de totale capaciteit van de trillings-keten beïnvloeden. Er ontstaat dus de gewenste frequentie-modulatie!

In principe werkt de UHF-generator op precies dezelfde manier. De spoel in de kollektor-kring is nu echter opgebouwd uit slechts een klein stukje verzilverde draad! Het afstemmen van de oscillator gaat op de reeds beschreven manier.

Voor het omschakelen van het apparaat tussen VHF en UHF past men een drastische, maar zeer doeltreffende schakeling toe. Door middel van de onderste contacten van de 2 x 4 standen schakelaar wordt de voeding voor de niet in gebruik zijnde oscillator afgeschakeld.
Het uitgangssignaal van de oscillatoren wordt door middel van schakel-dioden aan de uitgangstrap aangeboden.
Deze schakeling versterkt niet alleen maar zorgt ook voor de noodzakelijke

7.1 Een VHF/UHF hoogfrequentgenerator met AM- en FM-modulatie

impedantie-aanpassing. Aan de uitgang staat een signaal tussen +14 dBm en +7 dBm ter beschikking. De generator moet met een belasting van 50 à 75 Ohm worden afgesloten. Tussen de basissen en de kollektoren van de transistoren in de eindversterker zijn kleine RC-netwerken geschakeld. Deze stabiliseren de schakeling tegen ongewenste oscillaties. De twee weerstanden van 33 Ohm moeten inductievrij worden aangebracht, dus onmiddellijk aan de transistor solderen!

De bouw van deze oscillator is zeer kritisch, de geringste afwijking van de in figuur 5 aangegeven samenbouw kan desastreuse gevolgen hebben. De volledige schakeling wordt ondergebracht in een gesloten metalen behuizing, die door middel van schotten in diverse compartimenten is onderverdeeld. In deze compartimenten worden de verschillende schema-delen gemonteerd, waarbij geen gebruik wordt gemaakt van gedrukte bedradingen, maar de onderdelen tussen teflon soldeersteuntjes worden aangebracht. Alle voedings-aansluitingen moeten via doorvoer-condensatoren van 1 nF in het metalen doosje worden binnen gebracht.
De reeds eerder beschreven laagfrequent-oscillator wordt ook hier als basis voor de modulatie-schakeling gebruikt. Deze schakeling wekt een trapeziumvormig signaal op met een frequentie van ongeveer 5 kHz.

De voeding is op de gebruikelijke manier met geïntegreerde stabilisatoren opgebouwd. De condensatoren van 100 nF worden rechtstreeks aan de aansluitingen van de trafo gesoldeerd en onderdrukken eventueel via het net binnenkomende storingen.

Het afregelen

Hoewel het afregelen van deze generator een hele klus is, kan men zeer puntsgewijs te werk gaan. Bij het aanhouden van de onderstaande volgorde wordt een goed resultaat gegarandeerd.

1. een oscilloscoop en een digitale frequentie-meter aansluiten op de uitgang van de HF-generator.
2. modulatie-potentiometer op 0 zetten, 250 k-Ohm potmeter van de modulatie-transistor volledig op maximum, regelbare condensatoren op maximale capaciteit.
3. bereikenschakelaar instellen op spoel L11.
4. uitgangsspanning instellen op een frequentie van 100 kHz door het verdraaien van de kern in spoel L11.
5. regelbare condensatoren naar hun minimale waarde verdraaien, de frequentie van het signaal moet nu minstens 140 kHz bedragen.
6. de bereiken-schakelaar instellen op L12, de DRECO's opnieuw op maximale waarde instellen, uitgangsfrequentie op 140 kHz afregelen, condensatoren naar minimale waarde, observeren of de frequentie naar minstens 200 kHz gaat.
7. bereiken-schakelaar naar de volgende stand, en voor iedere stand de voorgeschreven procedure herhalen.
8. bereiken-schakelaar op spoel L17, modulatie-potentiometer op maximale amplitude, oscilloscoop naar de modulatie-uitgang en signaal op uiterlijk keuren, met de 250 k-Ohm potentiometer in de basis van de modulatie-transistor een op het oog mooie AM-modulatie instellen (oscilloscoop weer naar de HF-uitgang).

9. de amplitude-modulatie op alle overige bereiken op de scoop bekijken, eventueel indien nodig de modulatie-potmeter-instelling variëren.
10. de frequentie-meter en de oscilloscoop (of spectrumanalyser!) naar de uitgang van de UHF/VHF-generator verplaatsen, de modulatiepotentiometer op minimum draaien, de frequentie-instelling naar de +12 V-kant, de gebiedenschakelaar op band II zetten.
11. modulatie-potentiometer (100 k-Ohm) instellen op een uitgangsspanning van 20 V.
12. met de kern van spoel L26 de uitgangs-frequentie instellen op 225 MHz.
13. de potentiometer-loper naar het massa-punt verdraaien en controleren of de frequentie naar 176 MHz gaat, indien deze waarde niet wordt bereikt moet men L26 op een iets lagere frequentie instellen. Nadien de loper van de potentiometer weer naar de +12 V-kant draaien, de bereiken-omschakelaar instellen op band II en door middel van de kern van spoel L27 en de reeds beschreven procedure het frequentie-bereik instellen tussen de grenzen 110 en 87,5 MHz.
14. bereiken-omschakelaar naar band I schakelen, met L28 de frequentie op 68 MHz instellen, potentiometerloper naar de massa verplaatsen en op de frequentie-meter de frequentie aflezen. Wordt de 48 MHz niet gehaald, dan dezelfde procedure toepassen als beschreven in het vorige punt; nadien potentiometer weer naar de +12 V verdraaien.
15. bereiken-omschakelaar op band V, nadien door het verdraaien van de frequentie-potmeter instellen op maximale uitgangsspanning, vervolgens de frequentie op ongeveer 600 MHz instellen door het voorzichtig verbuigen van L24.
16. de FM-modulatie testen en de uitgangs-demping vaststellen, deze moet minstens 20 dB bedragen.

Frekwentie-instelling

1. HF-Generator

L 11	100 kHz	159 kHz
L 12	135 kHz	220 kHz
L 13	200 kHz	318 kHz
L 14	290 kHz	468 kHz
L 15	430 kHz	700 kHz
L 16	680 kHz	1 MHz
L 17	950 kHz	1,4 MHz
L 18	1,3 MHz	2,5 MHz
L 19	2,3 MHz	4,6 MHz
L 110	4,0 MHz	8,1 MHz
L 111	7,9 MHz	16 MHz
L 112	15 MHz	30 MHz

2. VHF-UHF-Generator

L 26	175 MHz	220 MHz
L 27	87 MHz	110 MHz
L 28	47 MHz	68 MHz
L 24	550 MHz	650 MHz

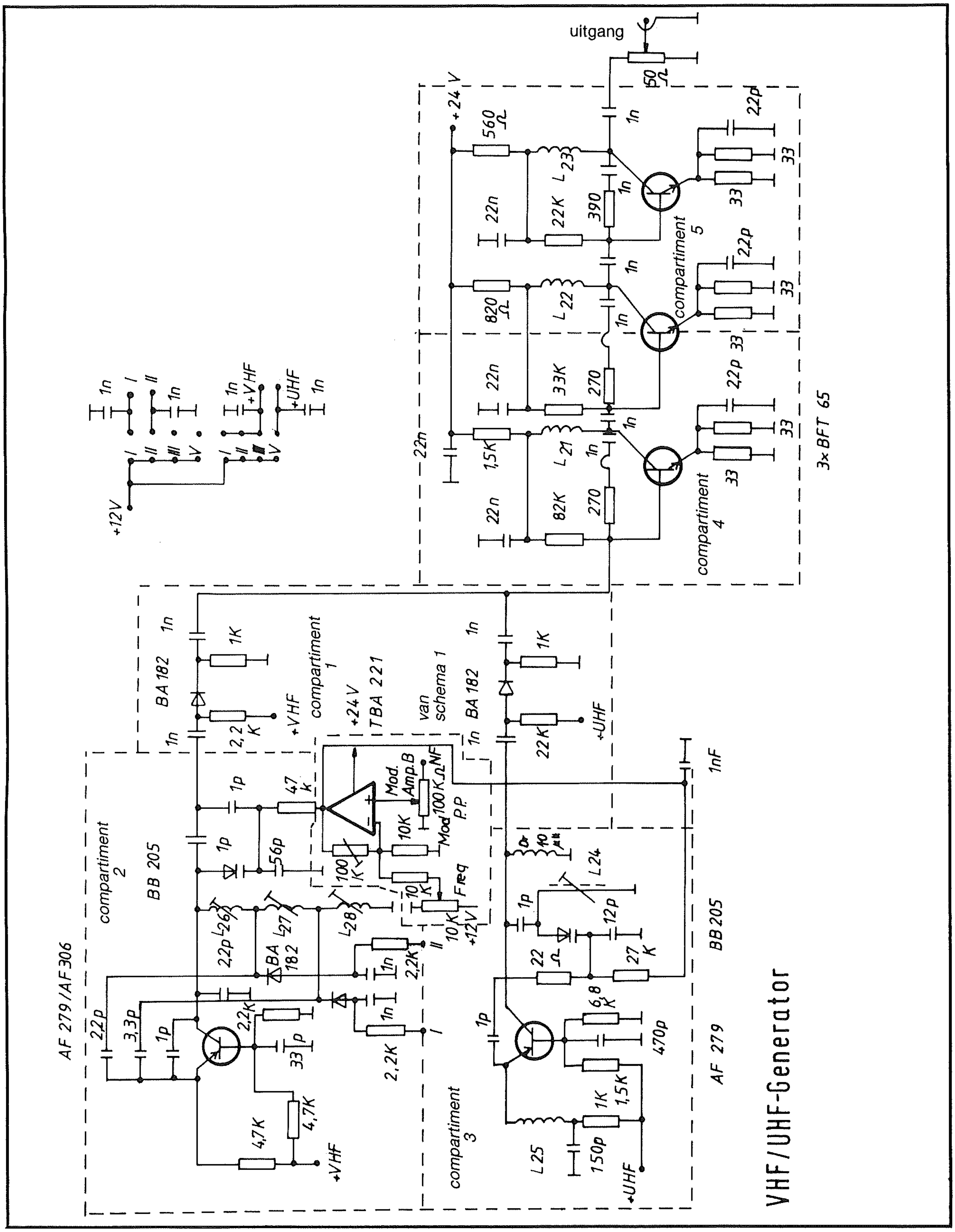
7.1 Een VHF/UHF hoogfrequentgenerator met AM- en FM-modulatie

Spoelen

Nr.	inductie	soort spoel	windingen	soort draad
11	30 mH	SK 2000 T26 Al = 400	273	0,2 gelakt Cu
12	15 mH	SK 2000 T26 Al = 400	193	0,2 gelakt Cu
13	5 mH	SK 2000 T26 Al = 400	111	0,2 gelakt Cu
14	1,5 mH	Al = 100	122	0,2 gelakt Cu
15	600 μH	SK 1100 N22 Al = 100	77	0,4 gelakt Cu
16	220 μH	SK 80 K1 Al = 40	74	0,4 gelakt Cu
17	70 μH	SK 80 K1 Al = 40	41	0,5 gelakt Cu
18	25 μH	een laag, 20 x 9	86	0,1 gelakt Cu
19	9 μH	een laag, 10 x 9	39	0,3 gelakt Cu
110	3 MH	een laag, 10 x 4	42	0,2 gelakt Cu
111	1 μH	een laag, 10 x 4	25	0,3 gelakt Cu
112	300 nH	een laag, 10 x 4	13	0,8 gelakt Cu
21	500 nH	een laag, 8 x 4	10	0,5 gelakt Cu
22	500 nH	een laag, 8 x 4	10	0,5 gelakt Cu
23	500 nH	een laag, 8 x 4	10	0,5 gelakt Cu
24		lusvormig, 3,5 diam	1,25	1 verz. Cu
25	500 nH	een laag, 8 x 4	10	0,5 gelakt Cu
26		een laag, 4 x 4	1	0,8 gelakt Cu
27		een laag, 5 x 4	4	0,8 gelakt Cu
28		een laag, 5 x 4	4	0,8 gelakt Cu

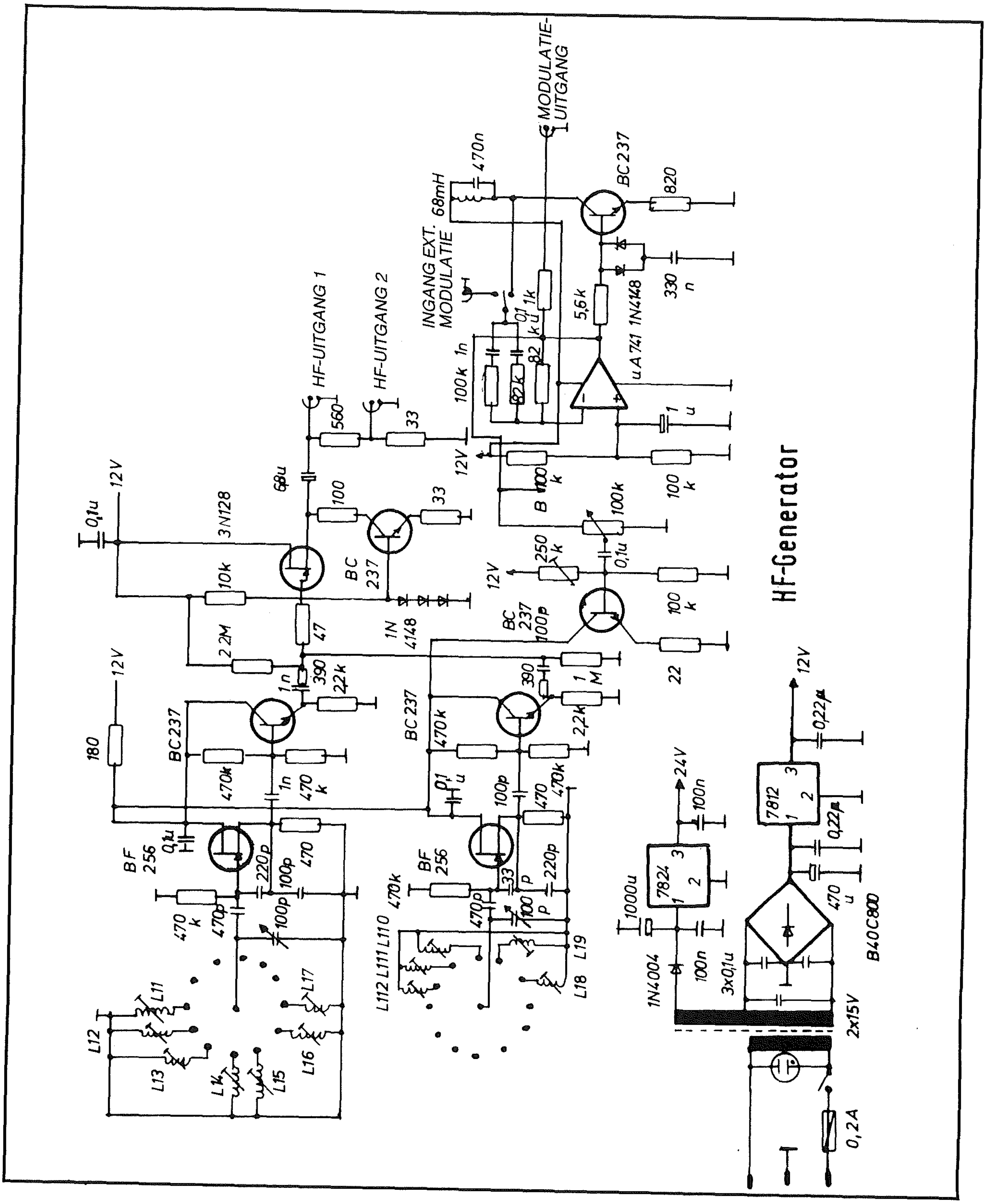
Tabel 4/7.1 -1

7.1 Een VHF/UHF hoogfrequentgenerator met AM- en FM-modulatie



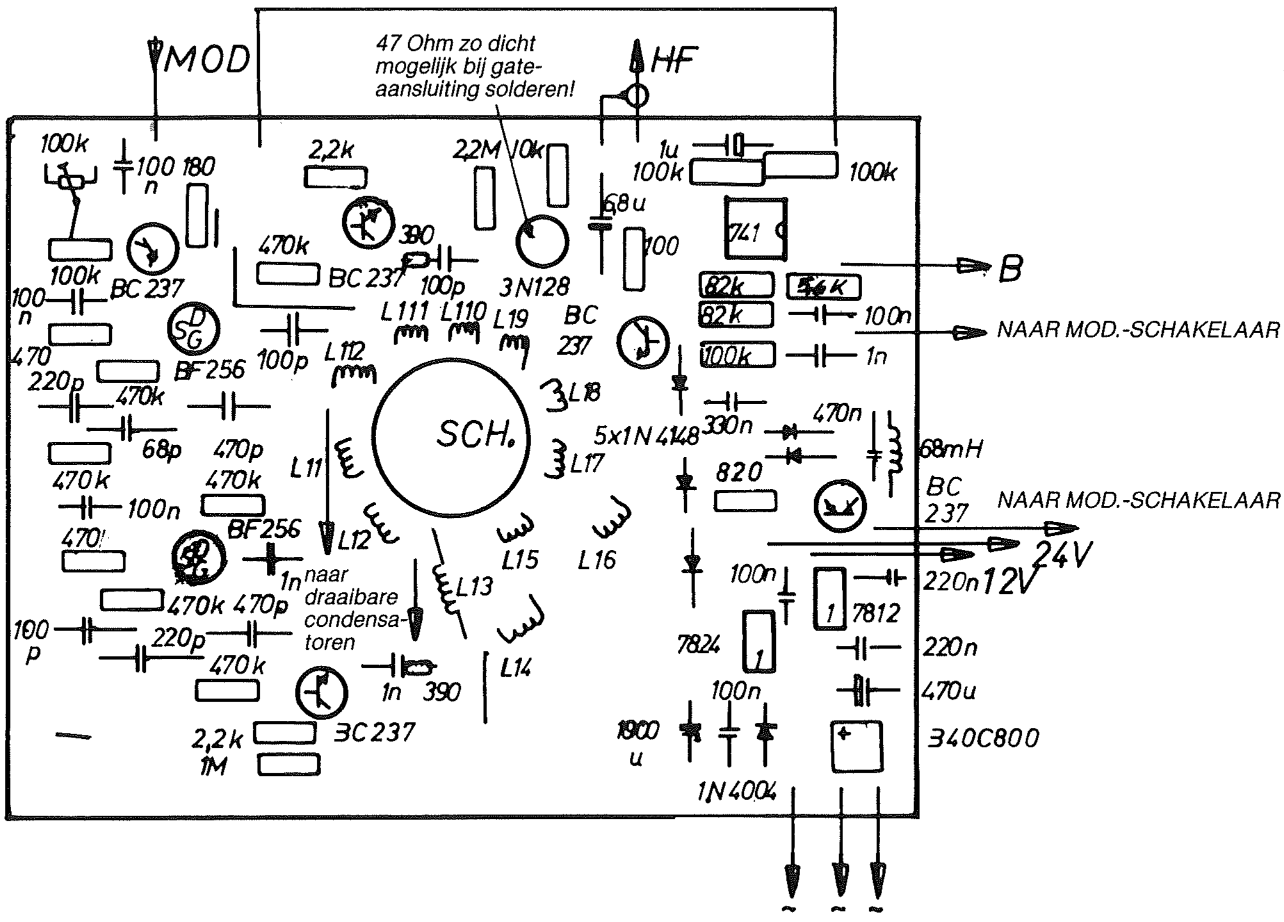
Figuur 4/7.1 - 1: het schema van de UHF/VHF-generator

7.1 Een VHF/UHF hoogfrequentgenerator met AM- en FM-modulatie



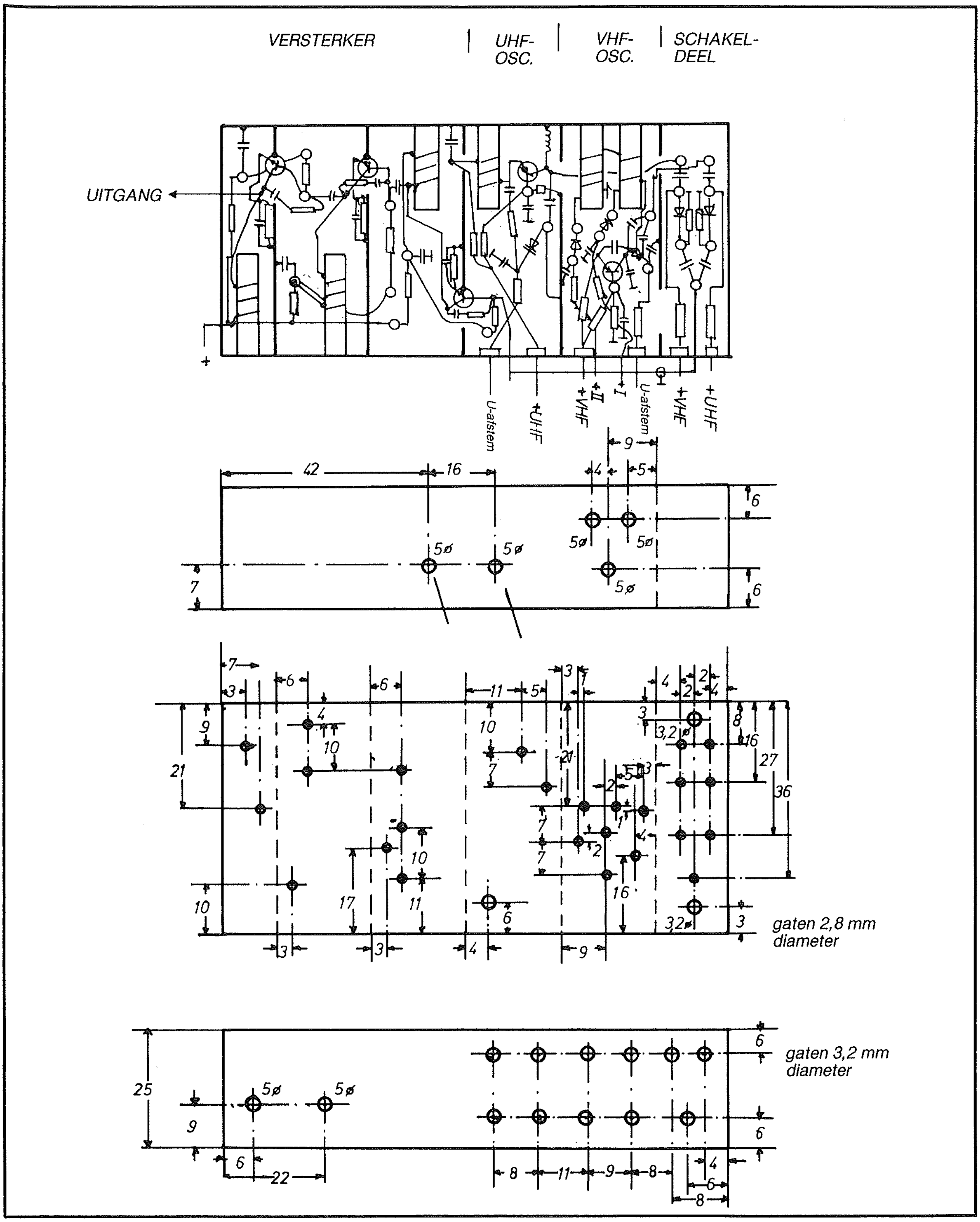
Figuur 4/7.1 -2: de schakeling van de hoogfrequent-generator

7.1 Een VHF/UHF hoogfrequentgenerator met AM- en FM-modulatie



Figuur 4/7.1 -4: bestukking van de HF-generator

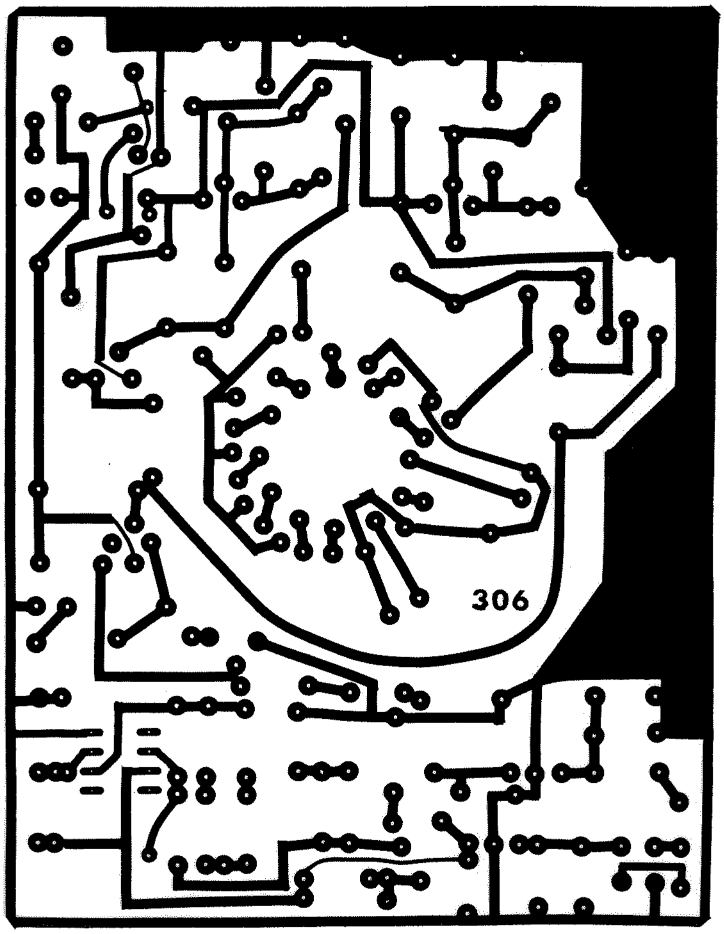
7.1 Een VHF/UHF hoogfrequentgenerator met AM- en FM-modulatie



Figuur 4/7.1 -5: constructie-tekening en montage-handleiding voor de VHF/UHF-generator

7.1 Een VHF/UHF hoogfrequentgenerator met AM- en FM-modulatie

7.1 Een VHF/UHF hoogfrequentgenerator met AM- en FM-modulatie



Figuur 4/7.1 -3: Print voor de HF-generator

4/7.2

Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen

Bij het ontwerpen van een millivoltmeter voor het hoogfrequente gebied moet men met verschillende factoren rekening houden:

a) de prijs: het apparaat moet voor een redelijke prijs na zijn te bouwen, waardoor het gebruik van speciale HF-onderdelen moet worden uitgesloten;
b) afregelen: als belangrijke eigenschappen van het apparaat, zoals gevoeligheid, ingangs-impedantie en temperatuursgevoeligheid elkaar onderling beïnvloeden, wordt de afregeling van het apparaat te gecompliceerd, zodat bepaalde schakelingen zoals een FET-detector helaas niet in aanmerking kunnen komen;
c) gevoeligheid: het apparaat moet minstens een gevoeligheid van −30 dBm hebben, maar deze eis stelt ook alweer duidelijke voorwaarden aan de schakelingen die in aanmerking komen;
d) schaal-indeling: het mooist is het natuurlijk als alle bereiken op één schaal kunnen worden afgelezen. Dit vereist een kwadratische werking van de detector. De gebruikelijke lineaire schaal kan dan als vermogens-aflezing worden gebruikt, dB's en mV kunnen als extra op de schaal worden getekend.

Waar kunnen we zo'n apparaat voor gebruiken?

Een hoogfrequente dB-meter is zeer zeker geen alledaags instrument en het is nuttig even in te gaan op de talrijke toepassingen.

a) het meten van kleine vermogens, bijvoorbeeld van oscillatoren, meetzenders, ring-mengers, etc;
b) het hoog-ohmig meten van kleine spanningen in zend- en ontvangstschakelingen en -kringen, hoewel onmiddellijk vermeld moet worden dat dit alleen mogelijk is als men de beschikking heeft over een extra hoogimpedante tastkop;
c) meten van de versterking, de doorlaatband, de in- en uitgangsimpedanties van versterkers en filters, met als noodzakelijke extra meetinstrumenten signaalgeneratoren en impedantiebruggen;
d) meting van de versterking en de signaal- en oscillatordemping van mengtrappen;
e) ijking van verzwakkers en dempingsnetwerken;
f) precisie-metingen op het gebied van antenne-aanpassing;
g) nauwkeurige metingen van de versterking van antennes, het apparaat is gevoelig genoeg om metingen in het veld uit te voeren;

7.2 Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen

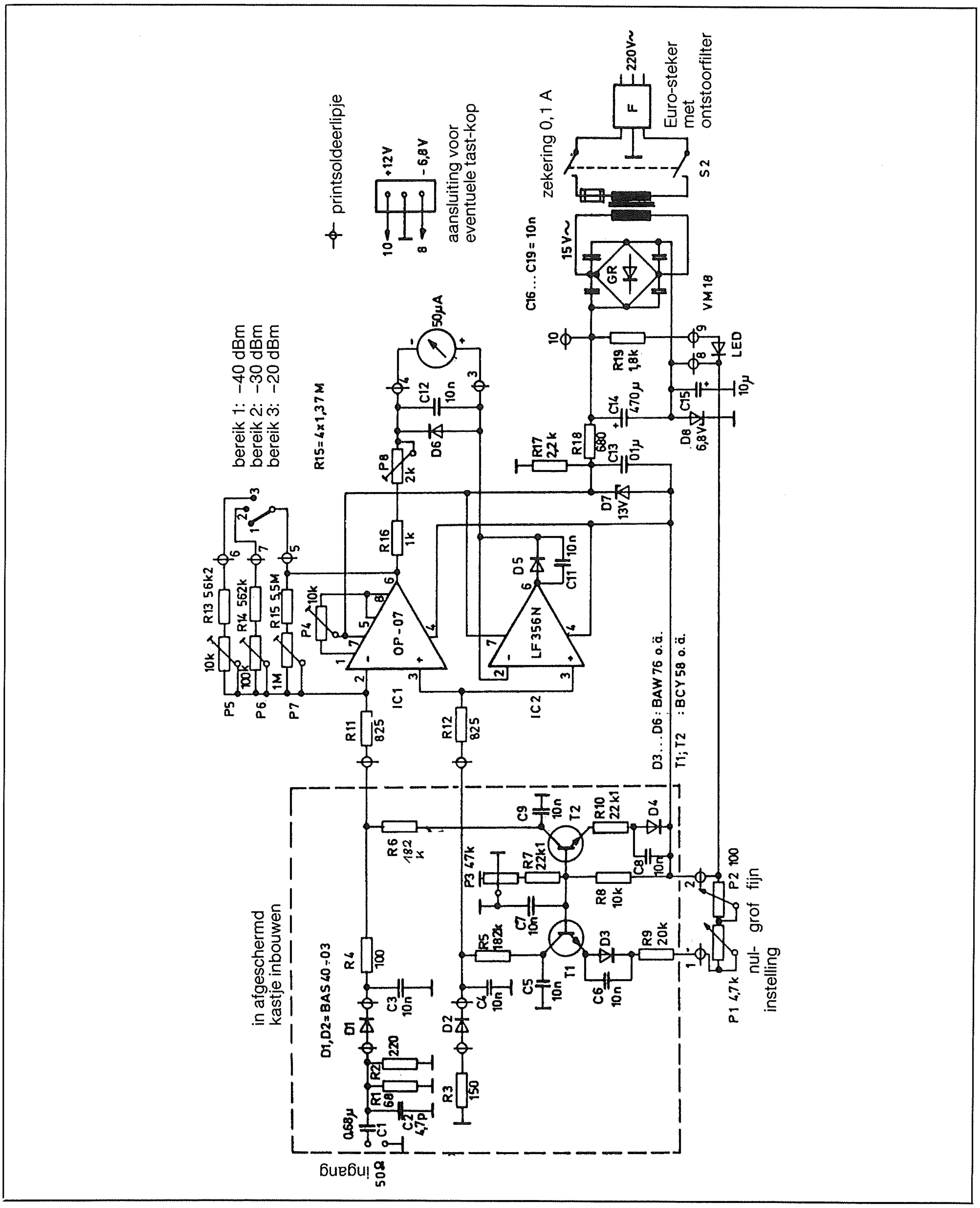
h) nauwkeurige meting van het uitgangs-vermogen van zenders, waarvoor men wel de beschikking moet hebben over geijkte afsluit-impedanties die grote vermogens kunnen verwerken en alle overige in de zendertechniek toegepaste verdeelstekers, etc.

Beschrijving van de schakeling

Voor probleemloze nabouw komt in feite slechts één principe in aanmerking: een kwadratisch ingestelde diode-gelijkrichter met nadien gelijkspannings-versterking. Een belangrijke eigenschap van deze schakeling is dat men de ingangs-impedantie door middel van een zuiver Ohmse parallel-weerstand vastlegt op 50 Ohm. De dynamische impedantie van de detector-diode ligt immers, zelfs als de schakeling van een bepaalde instelstroom wordt voorzien, nog steeds in het kilo-Ohm gebied en men kan deze impedantie verwaarlozen ten opzichte van de veel lagere Ohmse belasting. Natuurlijk moet men wel rekening houden met de impedantie van de geringe bedradings-capaciteit, die in het nuttige frequentie-gebied van het apparaat niet helemaal te verwaarlozen is!
De ingangs-impedantie en de frequentie-doorlaatband zijn enkel en alleen afhankelijk van de zorg die wordt besteed aan de nabouw van de schakeling en als men hot-carrier dioden gebruikt moet het mogelijk zijn de ingangs-impedantie tot meerdere honderden MHz vrijwel constant op 50 Ohm te houden.
De detector-diode wordt uitsluitend in het kwadratische deel van haar karakteristiek gebruikt en vandaar moet men geen rekening houden met de beruchte knik-in-de-grafiek, die zo vervelend is als men gewone topdetectoren toepast. De indeling van de schaal is niet afhankelijk van het meet-bereik en als men de schaal ijkt in Watt's kan men zelfs de originele schaalindeling van het meet-instrument handhaven! Wil men het instrument ook nog eens met dB- en mV-schalen uitrusten, dan moet natuurlijk wél de tekenstift ter hand worden genomen.
Het dynamische bereik van de uitlezing ligt tussen −40 en −20 dBm en waarden tot −50 dBm zijn nog goed af te lezen. Omdat het vaak voorkomt dat men een veel kleinere gevoeligheid wenst (uitgangsvermogens van zenders!) is het apparaat voorzien van een geijkte dempings-keten, een geijkte deler die maximaal met 33 dB verzwakt zodat de maximaal te meten waarde gelijk wordt aan +13 dBm.
Zoals reeds gezegd, moet de in figuur 1 getekende diode-detector in het kwadratische deel van zijn karakteristiek worden ingesteld. Vandaar is het noodzakelijk dat de aangeboden te detecteren hoogfrequente spanning steeds kleiner is dan 30 mV (komt overeen met −20 dBm) topwaarde en dat de diode wordt gevoed met een instelstroom.

De ingangs-impedantie wordt door twee parallel geschakelde precisie-weerstanden (R1 en R2) vastgelegd op 50 Ohm. Bij deze parallel-schakeling wordt rekening gehouden met de dynamische weerstand van de diode. De parallel geschakelde kleine condensator C2 van 4,7 pF compenseert de inductieve karakteristieken van de coaxiale aansluitkabel. Deze condensator vormt met de genoemde inductiviteit een laagdoorlaatfilter, waardoor de doorlaatband tot ongeveer 300 MHz wordt beperkt. Toch bedraagt de meetfout bij 500 MHz slechts 2,5 dB.

7.2 Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen



Figuur 4/7.2 -1: De schakeling van de dB-meter

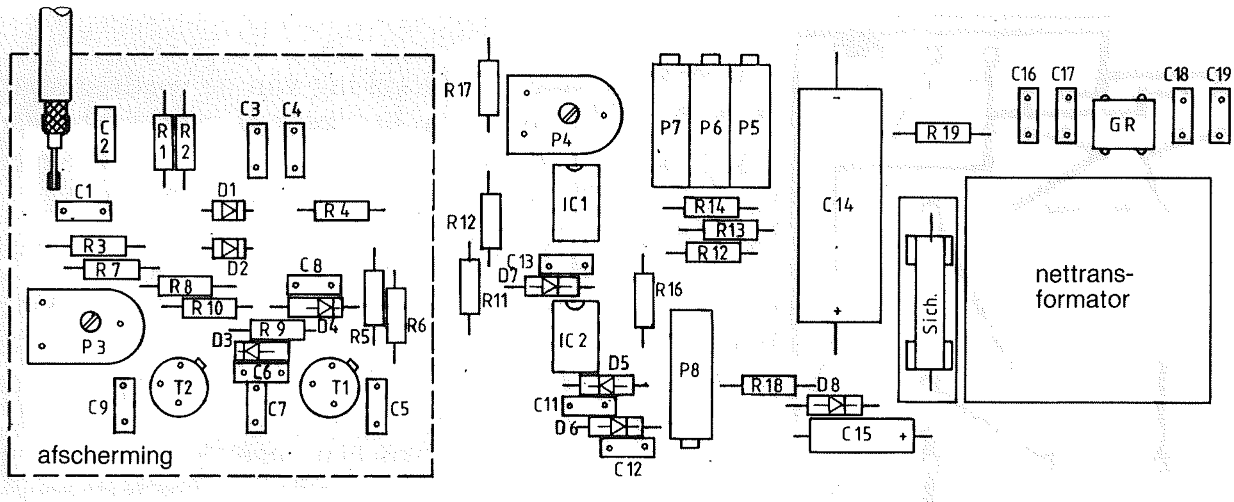
7.2 Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen

De onderste frequentie van het apparaat wordt bepaald door de koppel-condensatoren die in serie met de diode zijn opgenomen. Men kan deze condensatoren iedere gewenste waarde geven en daarmee de onderste meet-frequentie vast leggen. Toch moet men er rekening mee houden dat grote condensatoren een bepaalde serie-inductie hebben, die de hoogfrequente eigenschappen van het apparaat nadelig kunnen beïnvloeden. Vandaar dat het absoluut noodzakelijk is uit meerdere onderling parallel geschakelde lagen opgebouwde condensatoren te gebruiken.
Zowel de detector-diode D1 als de compensatie-diode D2 worden gevoed met een temperatuurs-afhankelijke instelstroom van ongeveer 20 μA. Deze stroom wordt geleverd door een stroombron, opgebouwd rond de transistoren T1 en T2. De stroom door D2 kan door middel van de potentiometers P1 en P2 worden gevarieerd. Met deze regeling kan men het nulpunt van de op de detector volgende verschil-versteker instellen. Zou men met deze regeling het nulpunt niet volledig kunnen compenseren, bijvoorbeeld omdat beide dioden toevallig erg uit elkaar liggende geleidings-spanningen hebben, dan moet men de dioden gaan uitsolderen en vervangen door identieke soortgenoten. Het is vandaar aan te bevelen deze onderdelen niet rechtstreeks in de print te solderen, maar op te nemen tussen soldeer-oogjes.

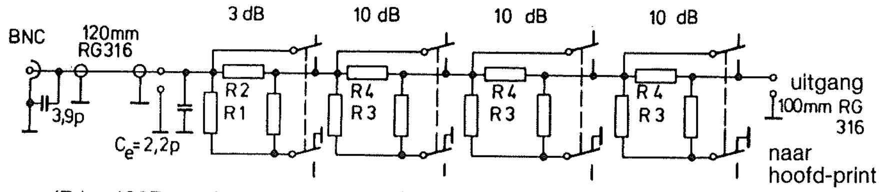
Zoals reeds gezegd zijn de instelstromen van beide dioden niet constant, maar afhankelijk van de temperatuur. Men past de bekende regel toe, dat de geleidings-spanning van een diode met ongeveer −2 mV per graad celcius varieert. De basis-emitterdioden van de transistoren T1 en T2 hebben, in combinatie met de in de emitter opgenomen dioden D3 en D4, een totale temperatuurs-coëfficiënt van 4 mV per graad celsius. De collectorstroom zal dus in dezelfde mate afhankelijk zijn van de temperatuur en deze temperatuurs-compensatie werkt zeer bevredigend in het gebied van 10 tot 35 graden celcius.

Omdat de op de detector volgende differentiële versterker een zeer hoge versterking heeft, wreekt zelfs de geringste afwijking in temperatuurs-eigenschappen tussen D1 en D2 zich door een behoorlijke en ontoelaatbare verschuiving van het nulpunt van de meter. Beide dioden moeten bijgevolg niet alleen op gelijke temperatuurs-eigenschappen worden geselecteerd, maar bovendien zoveel mogelijk op dezelfde temperatuur worden gehouden. De print is zo ontworpen, dat beide onderdelen naast elkaar worden opgenomen, zodat men ze door middel van warmte-geleidende pasta met elkaar thermisch kan koppelen. Bovendien is het noodzakelijk externe temperatuurs-schommelingen slechts vertraagd tot de dioden toe te laten. Ideaal is het inbouwen van de onderdelen in een soort thermisch isolerende behuizing, samengesteld uit een aluminium kastje uit vrij dik aluminium, omgeven door een dikke laag tempex. Het is trouwens zonder meer noodzakelijk de gehele detectorschakeling in te blikken! Doet men dit niet, dan kan de goede werking van de schakeling worden verstoord door rechtstreekse instraling van HF-signalen, bijvoorbeeld afkomstig van sterke radio- of TV-zenders. Het is dus een kleine extra moeite om de toch noodzakelijke metalen afscherming om te bouwen tot een thermisch isolerend geheel!

7.2 Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen

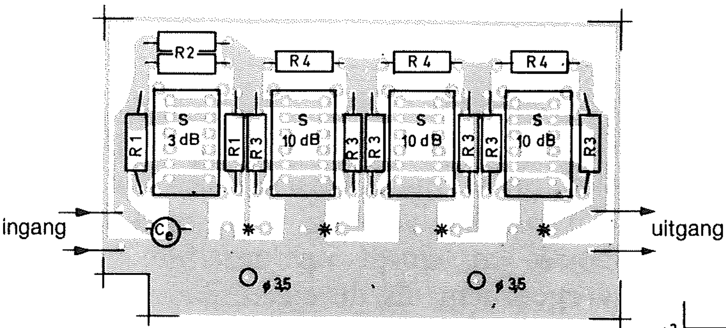


Figuur 4/7.2 -4: De plaats van de onderdelen op de hoofdprint



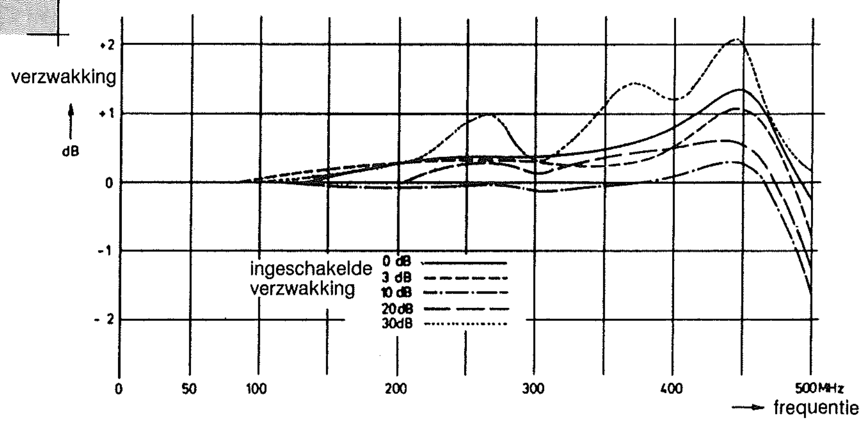
(R1 = 402R paral. aan 1k07)
(R2 = 22R6 paral. aan 86R6)
(R3 = 110R paral. aan 768R)
(R4 = 71R5)

Figuur 4/7.2 -5: Schakeling van de geijkte verzwakker



* : plaats voor eventuele meerdere parallel-condensatoren

Figuur 4/7.2 -6: Bestukking van de verzwakker



Figuur 4/7.2 -7: Frequentie-amplitude-karakteristiek van de verzwakker

7.2 Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen

De verschil-versterker heeft een voor dat soort schakelingen zeer laag te noemen ingangs-weerstand: circa 920 Ohm. Dit is noodzakelijk om het maximale dynamische bereik van de detector uit te buiten. De uit de operationele versterkers IC1 en IC2 opgebouwde gelijkspanningsversterker is klassiek van opbouw. Operationele versterker IC2 is geschakeld als spannings-volger, heeft bijgevolg een spannings-versterking van exact 1 en behoeft dus geen bijzonder goede ruiseigenschappen te bezitten. Zijn soortgenoot IC1 heeft echter een spanningsversterking van ongeveer 6000! Vandaar dat het beslist noodzakelijk is een type te gebruiken met een gegarandeerde equivalente ingangs-ruis van minder dan 1 μV. De OP-07, een professionele industrie-opamp, voldoet ruimschoots aan deze eis en is in de uitvoering voor beperkt temperatuurs-bereik bovendien niet eens zo duur. Toch is de print zo ontworpen dat men eventueel voor IC1 ook een zeer goedkope LF356 kan toepassen. Men moet er dan echter wel rekening mee houden dat in het gevoeligste meet-bereik een uitslag van ongeveer 3% (gerelateerd naar maximale uitslag) door de eigen ruis van de schakeling ontstaat. Bij het gebruik van een OP-07 is dat slechts 1%. Deze versterker is zelfs zo ruis-arm, dat zijn ruis-niveau veel en veel lager is dan de eigen ruis van de dioden D1 en D2. De ruis van de totale schakeling wordt dan ook alleen maar bepaald door de ruis van deze onderdelen, maar zonder al te drastische maatregelen (wat dacht u van koelen met vloeibare stikstof?) is daar helaas niets aan te doen. Wat wél helpt is het radicaal uitsluiten van iedere andere mogelijke ruisbron.

Vandaar dat extra aandacht is besteed aan de afvlakking van de voedingsspanningen en het zeer is aan te bevelen ruisarme metaalfilm-weerstanden te gebruiken.

De trimpotentiometer P4 wordt gebruikt voor het compenseren van de offset-spanning van de operationele versterker. Vanwege de zeer hoge spanningsversterking moet het apparaat zo goed mogelijk ontstoord worden tegen HF-instraling. Het inblikken van de detector is de eerste, reeds genoemde maatregel. Daarnaast worden alle dioden en transistoren ontkoppeld door middel van inductie-arme condensatoren, zodat men het apparaat ook zonder problemen in de nabijheid van HF-stralers, zoals antennes kan gebruiken. Verder is het aan te bevelen een HF-filter in de netleiding op te nemen. Diverse fabrikanten van ontstoor-apparatuur brengen niet dure Eurochassisdelen op de markt met ingebouwde HF-filters.

De dioden D5 en D6 beschermen het meetinstrument tegen grote spanningspieken bij het in- en uitschakelen van het apparaat. De voeding is klassiek van opbouw en wordt op dezelfde print ondergebracht als de eigenlijke schakeling, waarbij de print zo is ontworpen dat men een kleine print-trafo kan toepassen. Het is echter zeer wel mogelijk het apparaat uit batterijen te voeden. Men moet dan twee in serie geschakelde 9 V batterijen tussen de punten 10 en 8 aansluiten.

De geijkte verzwakker

Zoals reeds gemeld is het de taak van deze schakeling het meetbereik naar de hoge kant uit te breiden.

7.2 Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen

Er zijn zeer dure, professionele oplossingen mogelijk, maar door even onze verbeelding aan het werk te zetten is het mogelijk een zeer simpel, goedkoop en toch doeltreffend geheel te ontwerpen. Er wordt uitgegaan van de bekende en zeer goedkope schuifschakelaartjes die uit hardpapier zijn opgebouwd en vier omschakelaars bezitten. Deze worden in onze schakeling twee aan twee parallel geschakeld, waardoor de overgangs-impedantie van de contacten lager wordt. Gebleken is dat de eigen capaciteit van deze onderdelen zo laag is, dat men verzwakkingen tot 20dB per schakelaar tot aan de 250 MHz kan handhaven.

Het beschreven netwerk is opgebouwd uit vier trappen. Zoals uit figuur 3 blijkt worden de eerste drie gebruikt voor het inschakelen van 10 dB verzwakkingen en de laatste voor het verkrijgen van 3 dB spanningsdaling.

De combinatie verzwakker met meetapparaat geeft een scala aan meet-bereiken: −40, −37, −30, ..., 0, +3, +10 en +13 dBm. Men kan de verzwakking van het apparaat voor iedere te meten spanning zo instellen, dat de meter in het tweede gedeelte van de schaal aanwijst en de meet-fout dus het kleinst is.
De −3 dB-stand is zeer belangrijk: men kan hem gebruiken voor het testen van de werking van de kwadratische functie van de detector. Bij het instellen op de −3 dB-verzwakking moet de naald naar het midden van de schaal gaan!
Als men 1%-weerstanden toepast, blijft de afwijking binnen de 0,1 dB. De volledige schakeling kan worden ondergebracht op een klein printje met als afmetingen 67 x 38 mm. De bestukking volgt uit figuur 4.

De schakeling bevat twee kleine compensatie-condensatoren van respectievelijk 3,9 en 2,2 pF. Deze vormen, samen met de inductiviteit van de kabel en de soldeer-verbindingen, een impedantie van ongeveer 50 Ohm. Het gebruik van de goedkope schakelaars wreekt zich wel als we echt hoogfrequent gaan werken. Boven 50 MHz moeten we rekening houden met de diëlectrische verliezen in het hartpapier van het schakelaar-lichaam en de eigenschappen van het print-materiaal. Tot ongeveer 30 MHz zijn deze verliezen zo goed als verwaarloosbaar: minder dan 0,1 dB. Men kan deze frequentie-afhankelijke verzwakking compenseren bij de afregeling van het apparaat. Boven de 50 MHz gaat de versterking weer stijgen als gevolg van opslingeringen die worden veroorzaakt door de LC-kringen van kabel en paracitaire capaciteiten. Zoals uit figuur 5, waar de amplitude-frequentie karakteristiek voor dit gedeelte van het frequentie-spectrum is getekend blijkt, zijn deze opslingeringen afhankelijk van de stand van de verzwakker. Uit deze grafiek volgt dat men het apparaat tot 250 MHz (70 cm band!) kan gebruiken, zij het niet voor absolute metingen maar voor vergelijkende metingen tussen twee punten.
Wel moet men er rekening mee houden dat de ingangs-impedantie bij deze frequenties niet meer gelijk is aan 50 Ohm.

De bouw van het apparaat

Bij het boren van de print worden drie 3,5 mm gaten geboord, waarmee men later de print in een kast kan bevestigen. Nadien worden 19 printsoldeer-oogjes op de juiste plaatsen in de print gesoldeerd. De bouw van de print is verder probleemloos, zoals gezegd is het enige

waarop men moet letten dat de twee hot-carrier dioden zo worden vastgesoldeerd dat eventueel noodzakelijke demontage en vervanging zonder moeilijkheden mogelijk is. De (liefst Teflon) coaxiale kabel wordt rechtstreeks aan de onderzijde van de print aangesloten.

De bouw van de geijkte verzwakker

Als eerste worden de vier schuif-schakelaars op hun plaats vastgesoldeerd. Vergeet daarbij niet ook de metalen huisjes van de onderdelen met de massa van de print te verbinden. Bij sommige fabrikanten is het huisje van de schakelaar voorzien van een laklaag en in dat geval kan men beter eerst deze laklaag verwijderen en nadien solderen.
Vervolgens komen de 1%-weerstanden aan de beurt, die op de print moeten rusten, dus met zo kort mogelijke aansluitdraadjes op de print bevestigen. Is een bepaalde waarde samengesteld uit twee parallel geschakelde weerstanden, dan moet het exemplaar met de laagste waarde op de print worden gemonteerd.
Als laatste monteert men de twee coaxiale kabels rechtstreeks op de koperzijde van het printje.

Het meetinstrument

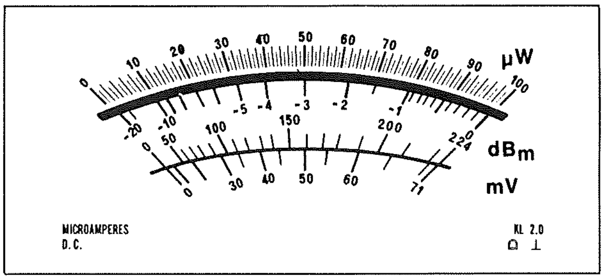
Er zijn diverse soorten meetinstrumenten in de handel en heeft men de mogelijkheid te kiezen, dan is het erg handig om een instrument te kopen dat reeds bij aanschaf is voorzien van een bruikbare schaal-indeling. Dat wil zeggen dat de schaal moet zijn voorzien van een redelijk goed onderverdeelde 0 tot 100 schaal. Deze schaal kunnen we dan, zonder wijzigingen te moeten aanbrengen, gebruiken voor het meten van de vermogens. De drie overige schaalindelingen, namelijk:

1 - −20 tot en met 0 dBm;
2 - 0 tot en met 224 mV;
3 - 0 tot en met 71 mV;

kunnen met figuur 8 als voorbeeld worden bijgetekend.

Er bestaan verschillende mogelijkheden. In ieder geval moet men eerst zeer voorzichtig het schaaltje uit de meter demonteren, waarvoor men horloge-schroevedraaiertjes en een vaste hand nodig heeft. Laat geen schroefje in het inwendige van de meter vallen, want de kans is groot dat dit zich ergens in de luchtspleet klem zet en niet meer zonder beschadiging van het zeer kwetsbare mechanisme kan worden verwijderd.
De meeste schaaltjes zijn voorzien van een wit gelakte basislaag, waarop de tekst door middel van een zeefdruk-procédé is aangebracht. Met behulp van een zeer scherp mesje of beter een glasvezel gummetje, kan men de niet noodzakelijke tekst verwijderen. Doet men dit zeer voorzichtig, dan blijft de witte laklaag ongeschonden en heeft men een ideale basis waarop men de extra schaaltjes met de hulp van afwrijf-letters en symbolen kan aanbrengen.
Een andere mogelijkheid is met deze pagina onder de arm een bezoekje afleggen aan de plaatselijke offset-drukker, die met zijn repro-kamera een mooie foto-kopie van figuur 6 kan maken en wel met iedere gewenste vergrotings- of verkleiningsfactor. Deze zogenoemde copyproof-opname kan nadien met een mesje op het juiste formaat worden gesneden en in zijn geheel op het schaaltje van uw meter worden gekleefd.

7.2 Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen



Figuur 4/7.2 -8: Een voorbeeld van de schaal-indeling van de meter

Het afregelen van het apparaat

Alvorens we ons bezig houden met de wisselspanningswerking van het apparaat, moeten we eerst enige gelijkspanningsmetingen verrichten. Een eenvoudige (analoge) universeelmeter is alles wat we daarvoor nodig hebben, naast uiteraard een flinke portie geduld.
Het instellen van het apparaat kan in drie delen worden onderverdeeld, die nu één voor één worden besproken.

De werking van de voeding

Bereiken-omschakelaar in stand "−20 dBm" zetten en apparaat inschakelen. Potentiometers P1 en P2 in de middenstand. De wijzer van het instrument zal waarschijnlijk naar de linker of rechter hoek van de schaal vliegen! Geen paniek, dat is normaal en beschadiging van het instrument is uitgesloten vanwege de aanwezigheid van de twee beveiligingsdioden. Meet de spanningen op de punten 8 en 10 ten opzichte van de massa. Op punt 8 meet men −6,8 V (de spanning over de zenerdiode), op punt 10 moet men ongeveer +20 V meten. Een andere indikatie voor het goed werken van de voeding is het branden van de LED.

Instellen van de dioden-stromen en afregelen van de offset

Bij zeer gevoelige gelijkspanningsversterkers moet men steeds de zogenoemde offset compenseren. Deze spanning is in principe terug te voeren tot kleine verschillen in de Ube van de transistoren in de ingangs-verschilversterker. Voor het compenseren van deze spanning sluit men de ingangen van de verschilversterker kort. In dit geval kan men door middel van een krokodil -klemmetje de naast elkaar gelegen soldeeroogjes bij de weerstanden R11 en R12 met elkaar doorverbinden. Gebruik geen soldeerverbinding, tijdens deze afregelfase mag men het thermische evenwicht van de schakeling zo min mogelijk verstoren. Het aanbrengen van extra plaatselijke warmte met de soldeerbout zou ontoelaatbare temperatuurs-verschillen tussen de diverse onderdelen kunnen veroorzaken en de afregelprocédure wordt dan zinloos. Na deze handeling zal de naald waarschijnlijk nog steeds in een van de hoeken staan. Vervolgens wordt de instelstroom van de diode met behulp van P3 ingesteld. Deze trimmer wordt verdraaid tot we op de kollector van transistor T2 een spanning van −3,3 V meten. De offsetspanning van de operationele versterker wordt nu gecompenseerd door het verdraaien van de loper van P4. De naald van de meter moet naar nul gaan. Nadien schakelen we de bereikenschakelaar naar −30 of −40 dB en herhalen de laatstgenoemde afregeling.

Het paren van de detector-dioden

Na het afregelen van de offset wordt de krokodil-klem verwijderd en is het de bedoeling dat de naald van de meter weer op nul wordt ingesteld door het ver-

7.2 Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen

draaien van potentiometer P1. Lukt dit niet, dan heeft u pech gehad en hebben de door u gebruikte hot-carrier dioden te afwijkende geleidings-spanningen. Het enige wat er dan op zit is enige extra dioden kopen en deze in de plaats van een van de dioden één voor één op te nemen. Maar let wel! Deze dioden mogen nog niet gesoldeerd worden, dit vanwege de reeds eerder genoemde kritische temperatuurs-eigenschappen van de schakeling.
Na het lossolderen van een van de dioden wacht men geruime tijd tot de schakeling zich weer op één temperatuur heeft ingesteld en drukt nadien een van de nieuwe dioden met een pincet tegen de soldeerlipjes. Men verdraait de potentiometer P1 en als men de naald op nul kan stellen, heeft men een bruikbare diode geselecteerd. Deze kan nadien worden vastgesoldeerd, waarna men beide dioden thermisch koppelt met behulp van warmtegeleidende pasta.

De ijking van het apparaat
Afregelen met een ijk-referentie

Heeft men de beschikking over een zeer nauwkeurige referentiebron, zoals een hoogfrequent generator met zeer nauwkeurig bekende uitgangsspanning of een zeer goede HF-millivoltmeter, dan is de ijking van het apparaat relatief eenvoudig en snel uit te voeren.

De bereiken-omschakelaar wordt in de stand "−20 dBm" gezet en de verzwakking van de verzwakker op nul ingesteld.
De tienslagen potentiometer P5 wordt in het midden van zijn bereik ingesteld (bij een trimmer met niet-transparante behuizing door middel van ohm-meter controleren). Nadien legt men aan de ingang van het apparaat een spanning van precies −20 dBm aan (in te stellen op de geijkte referentie-generator of af te lezen op de geijkte wisselspannings-voltmeter). De frequentie van dit signaal is niet zo belangrijk, een waarde tussen 1 en 50 MHz voldoet. Door middel van de potentiometer P8 moet men nu de meter op volle uitslag afregelen. Tijdens het verdraaien van deze potmeter moet men diverse malen de ingang loskoppelen van de generator en de nulpunts-instelling controleren. Eventueel corrigeren! Nadien wordt de −3dB schakelaar van de verzwakker ingeschakeld en moet de aflezing van de meter tot de helft terug vallen. De werking van de −10 dB schakelaars kan worden gecontroleerd: schakelt men een van deze verzwakker-trappen in, dan moet de aflezing naar 10% van de originele waarde gaan. Is dat niet het geval, dan kan er niets anders aan de hand zijn dan dat de waarde van de 1%-weerstanden in de verzwakker niet klopt.

Op dezelfde manier als beschreven voor de "−20 dBm"-stand van de bereikenschakelaar kan men nu achtereenvolgens de "−30 dBm" en de "−40 dBm"-gebieden ijken, waarbij de afregelpotentiometers P6 en P7 moeten worden ingesteld op maximale uitslag van de meter. Men zal vaststellen dat er nu een storende nulpunts-drift optreedt. Vandaar dat men de ijking slechts kan uitvoeren als het apparaat in een gesloten ruimte (zonder tocht) staat opgesteld en nadat de schakeling minstens 15 minuten is ingeschakeld.

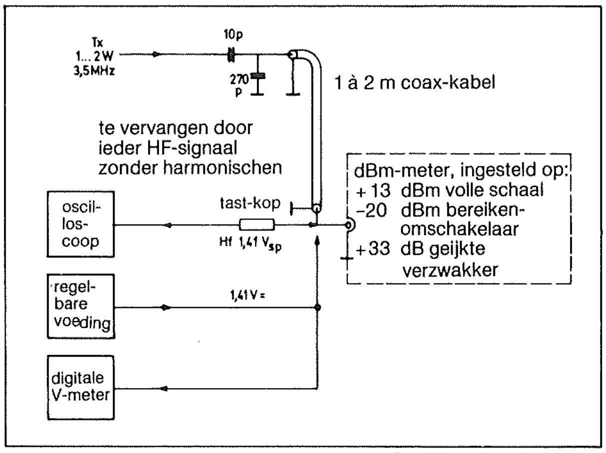
Door het omschakelen van het uitgangsvermogen van de generator, de bereiken-

7.2 Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen

omschakelaar van de meter en de schakelaars van de geijkte verzwakker kan men alle functies van het apparaat controleren.

Nauwkeurige ijking zonder geijkte generator

Niet iedereen zal de beschikking hebben over de in de vorige paragraaf beschreven geijkte hoogfrequent generator. Gelukkig kan men de meter ook ijken zonder zo'n instrument en wel volgens de methode geschetst in figuur 9.



Figuur 4/7.2 -9: Meet-opstelling voor het afregelen van het apparaat indien men niet de beschikking heeft over een geijkte HF-generator

De volgende goedkope apparaten moeten ter beschikking staan:

- een regelbare voeding;
- een gelijkspanningsgekoppelde oscilloscoop met een frequentie-bereik tot 15 MHz;
- een digitale gelijkspanningsvoltmeter;
- een hoogfrequente, maar niet geijkte signaalgenerator, die een vermogen van minstens 20 mW moet kunnen leveren;
- enige kleine onderdelen, zoals ceramische condensatoren.

De uitgangsspanning van de regelbare voeding wordt met behulp van de digitale voltmeter ingesteld op 1,41 V. De oscilloscoop (geschakeld op gelijkspanning) wordt met deze spanning verbonden en men noteert de horizontale positie van de op het scherm getekende lijn. Nadien verbindt men de uitgang van de HF-generator met de scoop en regelt de spanning zo af, dat de positieve top van de sinus samenvalt met de horizontale lijn van de 1,41 V gelijkspanning. De top-tot-top waarde van het signaal is dan 2,82 V wat overeen komt met een effectieve waarde van 1 V. Deze spanning wekt in de ingangsimpedantie van de millivoltmeter een vermogen van 20 mW = +12 dBm op. Deze procédure gaat er van uit dat de gebruikte oscilloscoop de ingestelde frequentie onverzwakt weergeeft. De nauwkeurigheid van deze methode is dan gelijk aan de nauwkeurigheid waarmee men beide horizontale schermposities kan vergelijken. Stelt men deze fout op 2% (1,6 mm bij een 8 x 10 beeldscherm) dan kan men het apparaat tot op 0,2 dB afregelen. Om de afleesfout op het scherm zo klein mogelijk te maken kan men het best in de niet-gecallibreerde stand van de vertikale gevoeligheidsregelaar werken en met de fijn-regeling de beeldhoogte op maximaal instellen.

Nadat men via deze omweg een geijkte HF-spanning ter beschikking heeft, kan men de afregeling en ijking van het apparaat volgens de in de vorige paragraaf beschreven procédure uitvoeren. Voor het ijken van de "−30 dBm" en "−40 dBm"-standen moet men de beschikking hebben over nauwkeurige verzwakkers, die men tussen de uitgang van de generator en de ingang van de millivoltmeter kan opnemen.

7.2 Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen

Heeft men geen breedband-oscilloscoop, maar weet men hoe de frequentie-karakteristiek van het apparaat verloopt, dan kan men deze gegevens in de ijking betrekken. Denk ook aan de eventueel beperkte bandbreedte van de ingangsprobe van de scoop!

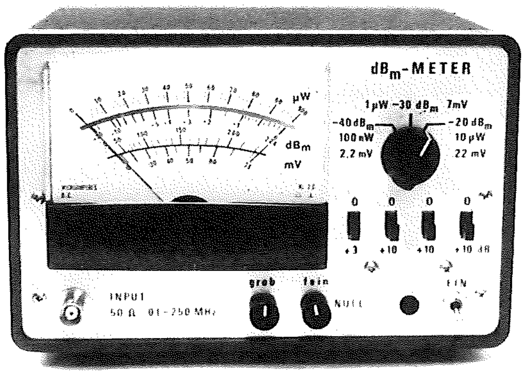
De belangrijkste karakteristieken van het apparaat

gevoeligheid	−40 dBm t/m +13 dBm, volle schaal
bandbreedte	100 kHz tot 250 MHz, bruikbaar tot 500 MHz
ingangs-impedantie ..	50 Ohm
max. ingangs-sign....	0,3 W
nauwkeurigheid	beter dan 0,2 dB tot 100 MHz
	beter dan 0,4 dB tot 150 MHz
	beter dan 1,5 dB tot 250 MHz
	beter dan 2,5 dB tot 400 MHz
temperatuursverloop .	minder dan 0,3 dB tussen +10 en +35 °C
stroomverbruik......	17 mA, bij 18 V voedingsspanning
	7 mA, bij uitgeschakelde indicatie-LED

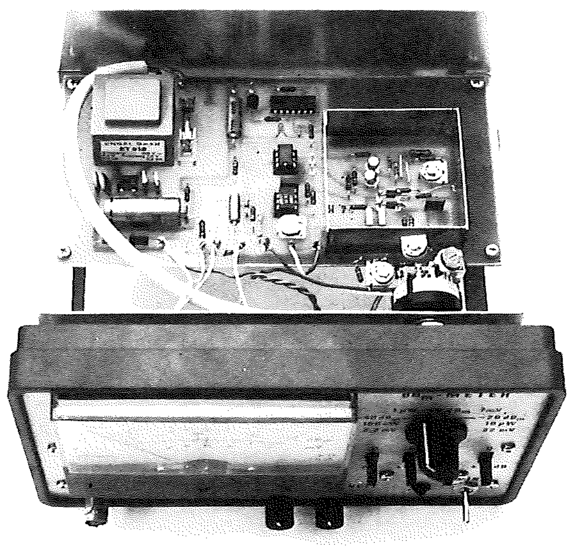
Speciale onderdelen

OP-O7-CP.........	PMI
BAS40-03	Siemens
Schuifschakelaars....	Sciltronics

7.2 Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen

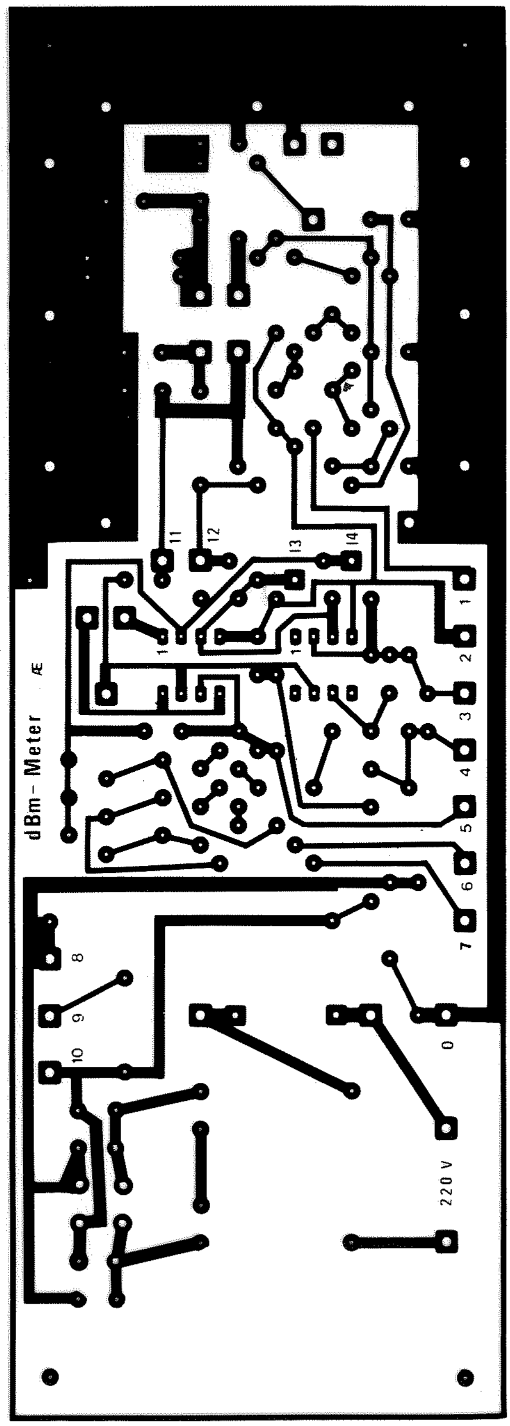


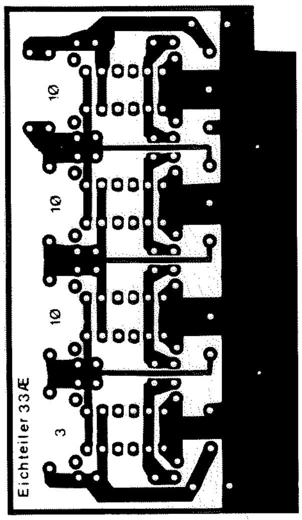
Figuur 4/7.2 -10: Het proto-type van het apparaat



Figuur 4/7.2 -11: De interne opbouw van het apparaat (de in de tekst beschreven zeer noodzakelijke maatregelen ter reductie van de temperatuurs-invloed zijn nog niet aangebracht)

7.2 Een nauwkeurige dBm-meter voor HF-metingen





Figuur 4/7.2 -2 en **Figuur 4/7.2 -3:** Prints voor de dBm-meter

4/7.3

Een laagfrequent mV-meter

Zoals steeds bestaat ook deze schakeling uit twee blokken: op de eerste plaats een zeer hoog-ohmige ingangs-trap, uitgerust met een FET T1 (BF 245) en op de tweede plaats de eigenlijke versterker met gelijkrichter en meetinstrument.

De ingangs-trap is uitgerust met twee afzonderlijke spanningsdelers. De eerste zit aan de ingang van de schakeling, dus aan de gate van de FET en heeft twee standen. In de bovenste stand van de schakelaar S1 wordt het te meten signaal onverzwakt doorgekoppeld, in de onderste stand wordt een 1/1000 resistieve verzwakker ingeschakeld, opgebouwd uit de weerstanden R0 en R1. Deze spanningsdeler is hoog-ohmig en vandaar dat het noodzakelijk is een capacitieve frequentie-compensatie toe te passen. Over de weerstands-deler wordt een identieke capacitieve deler aangebracht, samengesteld uit de vaste condensator C0 en de trimmer Ck. Door het afregelen van deze trimmer kan men het effect van de bedradings-capaciteit en de paracitaire capaciteiten van de weerstanden compenseren. Dit is van belang voor het recht trekken van de frequentie-karakteristiek van de verzwakker. De tweede deler bevindt zich in de source-leiding van de FET en is voorzien van drie standen. De verhouding tussen de weerstanden R3, R4 en R5 is zodanig gekozen, dat men met deze verzwakker meet-bereiken van respectievelijk 3 mV, 30 mV en 300 mV kan selecteren. Door het inschakelen van de eerstgenoemde verzwakker worden deze meetbereiken respectievelijk 3 V, 30 V en 300 V. De tweede verzwakker is laag-ohmig wat als groot voordeel heeft dat capacitieve frequentie-compensatie kan vervallen.

De versterker van de schakeling is opgebouwd uit drie in cascade geschakelde bipolaire transistoren T2, T3 en T4. We kunnen daar zeer gewone transistoren voor gebruiken, zoals BC 237, BC 107 of BC 109! Door middel van de instelpotentiometer R10 kan men het instel-punt van deze versterker afregelen. De uitgang van de versterker stuurt het meetinstrument via schakelaar S5. In de linker-stand van deze schakelaar stuurt de versterker zijn uitgangs-signaal naar de diode-gelijkrichter D1 tot en met D4. Het meet-instrument is opgenomen in de andere aansluiting van de diode-brug.
In de andere stand van schakelaar S5 wordt de meter verbonden met de batterij en meet de toestand van de voeding.

De combinatie brug-gelijkrichter/meetinstrument is opgenomen in een terugkoppel-lus van de uitgang van de versterker naar de emitter van T2. Door deze terugkoppeling wordt de meter-indicatie

gelineariseerd. Het meet-instrumentje kan dus worden voorzien van een lineaire schaal hetgeen niet alleen zeer eenvoudig is om te tekenen maar ook het aflezen van zeer kleine spanningen vergemakkelijkt. De terugkoppeling heeft nog een aantal andere voordelen, zoals het verbeteren van det temperatuurs-stabiliteit van de versterker en het verbreden van de frequentie-band. Tussen 10 Hz en 70 kHz is de grootste afwijking niet meer dan ± 0,4 dB! Zelfs bij een frequentie van 300 kHz is de meet-fout kleiner dan ± 1,5 dB, hetgeen zonder meer uitstekend is te noemen voor een instrument dat voor nog geen 100 gulden kan worden nagebouwd.

Het afregelen

- Regel het werk-punt van de versterker af door de instelpotentiometer R10 te verdraaien tot de in het schema ingetekende spanningen op de kollectoren en emitters van de transistoren T2 tot en met T4 ongeveer kloppen. Gebruik voor het meten van deze spanningen een universeel-meter met een gevoeligheid van minstens 20 k-Ohm/V.
- Wie de beschikking heeft over een sinus-generator en een oscilloscoop kan het werk-punt van de versterker veel nauwkeuriger op de volgende manier afregelen. Zet een sinus-signaal van 1 kHz op de ingang van de versterker. Verbind de ingang van de oscilloscoop met de emitter van transistor T4. Voer nu de uitgangs-spanning van de generator langzaam op, tot het signaal op de uitgang vastloopt tegen de voedingsspanning (bovenste top van de sinus afgeplat) of tegen de massa (idem met negatieve top). Verdraai nu de instelpotentiometer R10 tot het signaal weer onvervormd is. Vergroot de ingangsspanning tot hetzelfde verschijnsel optreedt. Verdraai nu weer R10 tot de sinus symmetrisch is. Ga zo door tot, bij verdere toename van de ingangs-spanning, het signaal op de emitter van de eind-transistor mooi symmetrisch vastloopt tegen de voeding en tegen de massa (negatieve en positieve top van de sinus in dezelfde mate afgeplat). De versterker staat nu gegarandeerd keurig in het midden van zijn functiegebied ingesteld, ook als zou blijken dat de spanningen op de diverse punten van de schakeling nu niet meer in overeenstemming zijn met wat in het schema is getekend!
- De meter kan nu worden geijkt. Aan de ingang wordt een sinusvormig signaal met een frequentie van 1 kHz en een effectieve waarde van 3 mV aangeboden. Door middel van de terugkoppelweerstand R13 wordt de uitslag van de meter op volle schaal afgeregeld.
- Voor het afregelen van de frequentie-compensatie heeft men sinus-signalen van 1 en van 30 kHz nodig. Zet S1 in de onderste stand (ingangs-verzwakker ingeschakeld) en leg afwisselend even grote signalen van 1 en van 30 kHz aan de ingang van de schakeling. Verdraai nu de trimmer Ck (gebruik het geëigende gereedschap, dus geen metalen schroevendraaier maar een speciale afregel-set) tot de naald voor beide signalen dezelfde uitslag aanwijst.

7.3 Laagfrequent mV-meter

Werken met de mV-meter in de praktijk

De meter moet uiteraard door middel van een afgeschermde kabel verbonden worden met het meet-punt. Nu heeft zo'n kabel een bepaalde eigen capaciteit en deze gaat ons parten spelen bij het meten van spanningen die ontstaan op punten die een relatief hoge impedantie hebben. De capacitieve impedantie van de kabel vormt dan immers een spannings-deler met de impedantie van de test-schakeling en dat kan tamelijk grote meet-fouten veroorzaken. Zeker als de frequentie van het te meten signaal groter is dan 10 kHz moeten we terdege rekening houden met dit verschijnsel!

De schakeling wordt niet voor niets uit een 4,5 V batterij gevoed. Het inbouwen van een netvoeding met transformator zou zoveel 50 Hz velden in de kast van de meter introduceren, dat er van het meten van spanningen in het mV-bereik helemaal geen sprake zou zijn. Het zal dus duidelijk zijn dat het van het grootste belang is de volledige schakeling goed in te blikken! Zelfs het meten van kleine signalen in de buurt van netleidingen of transformatoren kan zoveel brom in de meet-kabel introduceren, dat de naald in het gevoeligste bereik volledig in de hoek slaat. Gebruik de meter dus met beleid en interpreteer iedere gemeten kleine spanning.
Sluit ook steeds eerst de massa van de kabel aan en dan de signaal-voerende geleider!

Bij het aanschakelen van het apparaat en ook bij het omschakelen van het ene naar het andere meet-bereik zal de naald enige vreemde capriolen uitvoeren. Dit is normaal en wordt veroorzaakt door het op- en ontladen van de relatief grote condensator C3. Deze elco is voor het goed meten van laagfrequente signalen echter zeer noodzakelijk en we zullen dus met dit kleine ongerief moeten leren leven. Na enige seconden staat de naald echter stil en is de meter beschikbaar voor nieuwe metingen.

Onderdelenlijst
weerstanden

R 0	3,3 M-Ohm, 1%
R 1	3,6 k -Ohm, 1%
R 2	10 M-Ohm
R 3	24 Ohm, 1%
R 4	220 Ohm, 1%
R 5	2,2k -Ohm, 1%
R 6	2,2k -Ohm
R 7	680 Ohm
R 8	33 k -Ohm
R 9	10 k -Ohm
R10	1 M-Ohm, trimmer
R11	27 Ohm
R12	24 Ohm
R13	100 Ohm, trimmer
R14	5,6 k -Ohm
R15	3,9 k -Ohm
R16	680 Ohm
R17	5,6 k -Ohm
R18	47 k -Ohm

Condensatoren

Ck	0-10 pF keramische trimmer
C0	10 nF
C1	47 nF
C2	100 µF
C3	10 µF
C4	47 nF
C5	100 µF
C6	47 nF
C7	220 µF
C8	100 µF

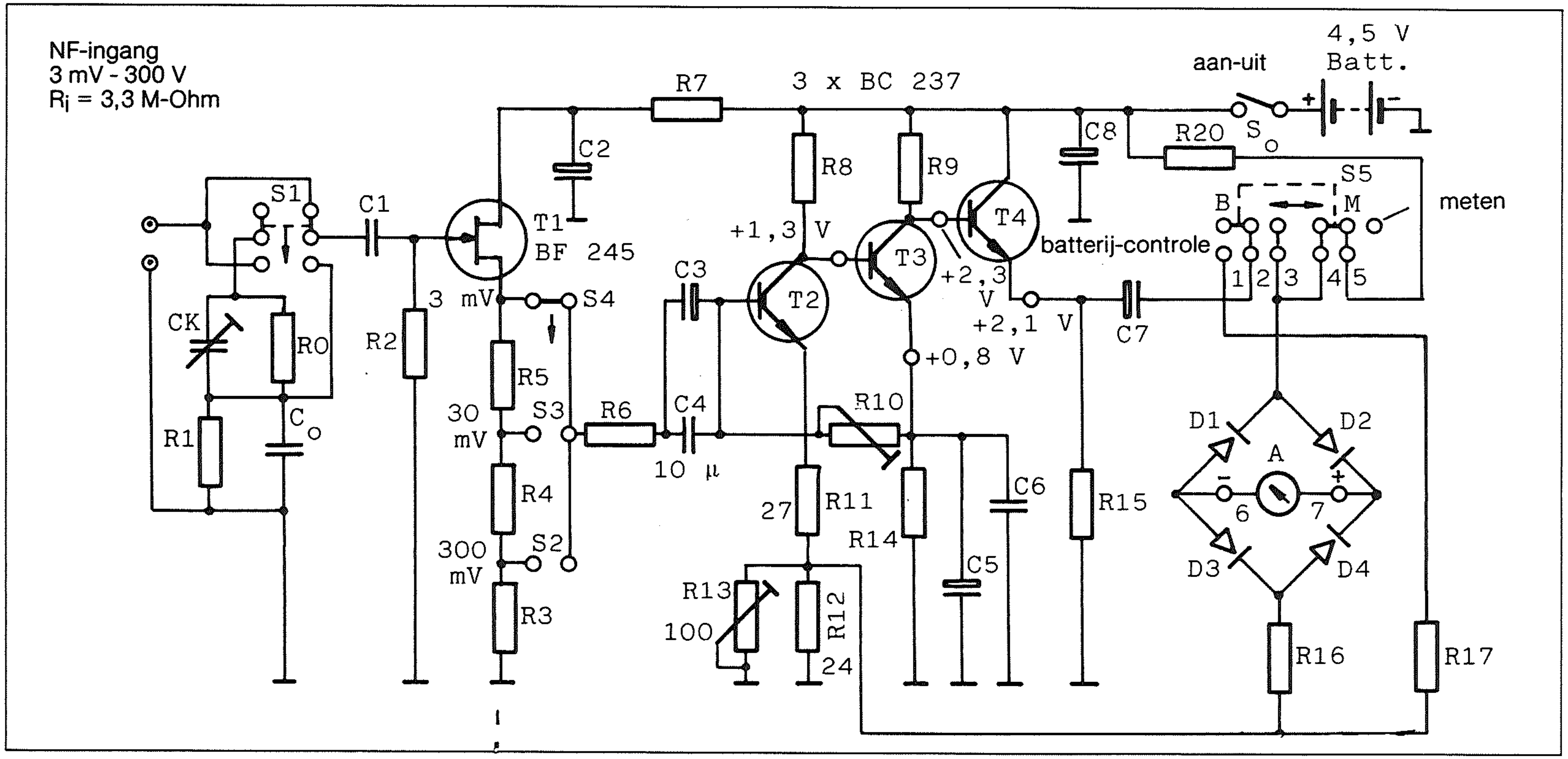
7.3 Laagfrequent mV-meter

Halfgeleiders

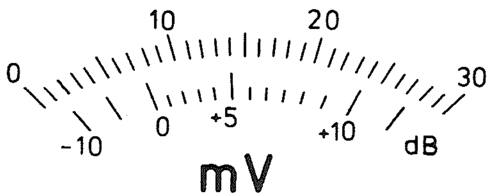
D1 .... AA 118
D2 .... AA 118
D3 .... AA 118
D4 .... AA 118
T1 .... BF 245
T2 .... BC 237
T3 .... BC 237
T4 .... BC 237

Diversen

S0	=	enkelvoudige aan-uit schakelaar
S1	=	tweevoudige omschakelaar
S2 .. S4	=	1 x driestanden draaischakelaar
S5	=	tweevoudige omschakelaar
A	=	100 μA/550 Ohm draaispoelmeter
B	=	4,5 V batterij

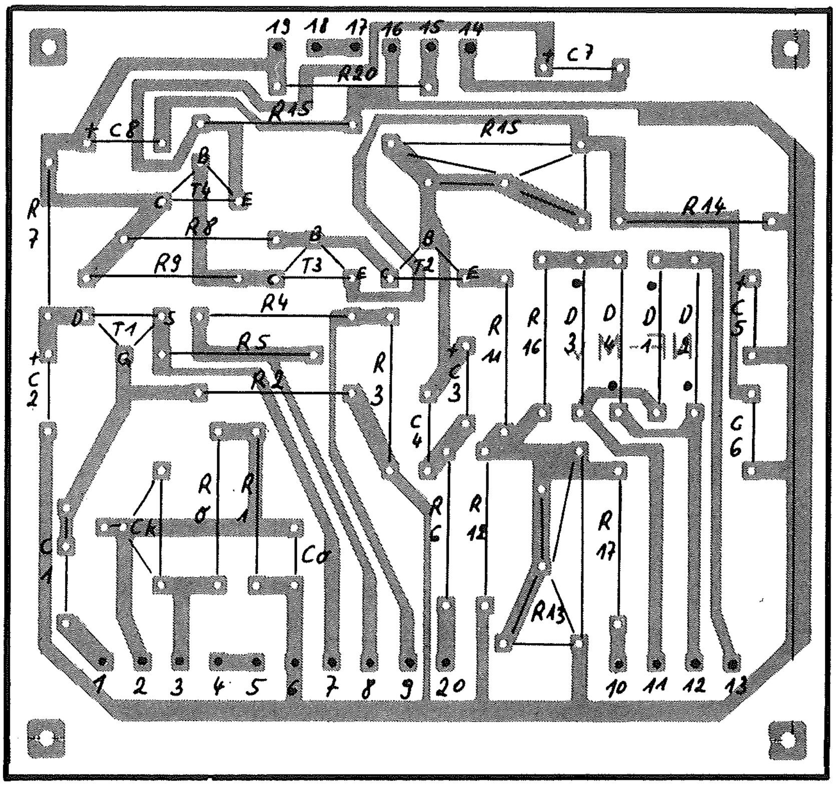


Figuur 4/7.3 -1: Het schema van de mV-meter



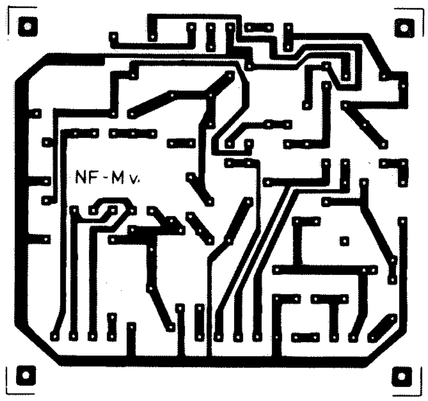
Figuur 4/7.3 -2: Voorbeeld van de nieuwe schaal voor de meter

7.3 Laagfrequent mV-meter



Figuur 4/7.3 -3: Bestukkingsplan van de print

7.3 Een laagfrequent mV-meter



Figuur 4/7.3 -4: het printje

4/7.4

Een actieve hoog-impedante HF-tastkop

Voor wie vaak moet meten in hoogfrequente schakelingen, zoals televisie-toestellen of FM-tuners, is een goede HF-meetprobe een welhaast onmisbaar attribuut. Vaak zijn immers de te meten signalen erg klein en alleen beschikbaar op tamelijk hoog-impedante punten. Het aansluiten van een afgeschermde meetkabel introduceert dan zoveel paracitaire capaciteit en dus extra signaal-belasting, dat er van het te meten signaal niets overblijft. Een tweede probleem is het meten in afgestemde kringen. Ook hier zorgt de impedantie van de meetkabel voor problemen, bijvoorbeeld door het veranderen van de doorlaat-frequentie van een afgestemde LC-kring. De enige oplossing is gebruik te maken van een HF-meetprobe. Deze heeft een zeer hoge ingangs-impedantie en zeer lage ingangs-capaciteit, zodat de belasting van het meetpunt te verwaarlozen is.

De in dit hoofdstuk beschreven aktieve HF-tastkop heeft een frequentie-bereik van ongeveer 70 kHz tot ongeveer 200 MHz en heeft in dat gebied naar keuze een spannings-versterking van 0 of van −10 dB. In kombinatie met een oscilloscoop of een HF-millivoltmeter kan de kop signalen tussen 2 mV en 1 V (effectieve waarde) verwerken.

Principe van de schakeling

Het principe-schema van de kop is getekend in figuur 4/7.4 -1.
De spannings-versterking tussen drain en gate van een FET wordt gegeven door de formule:
$V_u = S \times R_D$

In deze formule stelt S de steilheid van de halfgeleider voor en R_D de belastings-weerstand in de drain. Zoals uit de tekening volgt is de belastings-weerstand bij deze schakeling een zelfinductie met een aftakking. Deze transformator heeft een spannings-overdracht van 2:1. Hieruit kan men afleiden dat de 50 Ohm belasting van de schakeling wordt getransformeerd naar een primaire impedantie van 100 Ohm.
De eerder gestelde formule wordt:
$V_u = S \times 100$ Ohm
Bij een spannings-versterking van 1 is de factor V_u gelijk aan 1. De steilheid van de toegepaste FET moet dus minstens 10 mS (= milli-Siemens) bedragen. De dual-gate MOSFET BF 982 van Philips voldoet met zijn steilheids-specificatie van 20 mS ruimschoots aan deze eis en heeft als groot bijkomstig voordeel een uitzonderlijk lage ingangs-capaciteit: 4 pF!

7.4 Actieve, hoog-impedante Hf-tastkop

De ingangs-impedantie van actieve probes

De totale ingangs-capaciteit van de meetprobe (bij een spannings-versterking van één) bedraagt ongeveer 7 pF, waarvan 1,5 pF voor rekening komt van het afgeschermd huisje rondom de schakeling. Met deze zeer lage capaciteit voldoet de probe ruimschoots aan de eis om zonder problemen met verstemming van afgestemde ketens of te zware belasting van meet-punten in gevoelige HF-schakelingen te kunnen werken.
Toch mag men niet uit het oog verliezen dat zelfs zo'n kleine capaciteit bij een frequentie van bijvoorbeeld 100 MHz nog steeds een belasting van slechts 230 Ohm veroorzaakt! Hetgeen nu niet bepaald een hoog-ohmige meting kan worden genoemd! Vandaar dat het in feite alleen maar mogelijk is goed in zeer hoogfrequente schakelingen te meten als we afstand nemen van de vertrouwde manier van spanningen meten en met elkaar vergelijken, maar overschakelen op het meten van impedanties of vermogens. Uit deze twee grootheden kunnen we immers met enige eenvoudige formules ook alle gewenste informatie krijgen over spannings-verhoudingen in een schakeling en bij het meten van deze twee grootheden kunnen we wél uit de voeten met de niet te vermijden lage impedanties van meetprobes.

Toch kan men de capaciteit van de probe niet onaanzienlijk verlagen. We moeten dan wel genoegen nemen met een spannings-verzwakking tussen in- en uitgang. In de meeste gevallen is een verzwakking van −10 dB nog wel acceptabel.

Hoe we dat doen? Erg simpel, gewoon een zeer kleine condensator in serie met de meet-stift opnemen! Bij serie-schakelingen van condensatoren bepaalt de kleinste condensator immers de totale waarde en als we bijvoorbeeld een condensatortje van 2,2 pF voor de gate schakelen daalt de totale ingangs-capaciteit tot ongeveer deze waarde: 2,8 pF. Deze kleine condensator in de signaal-loop veroorzaakt natuurlijk een spanningsverzwakking maar zoals gezegd is de −10 dB in de praktijk nog steeds zeer bruikbaar.
Zelfs zeer dure professionele HF-probes hebben een ingangs-capaciteit die in dezelfde grootte-orde ligt. Ons zelfbouwproduct kan zich, wat dat betreft, dus best laten vergelijken met wat de industrie in staat is!

Schema-beschrijving

Het praktische schema van de probe is getekend in figuur 4/7.4 -2. De versterking van de dual-gate MOSFET is van een aantal factoren afhankelijk. Op de eerste plaats van de instelspanning op de bovenste gate en het ligt voor de hand deze eigenschap te gebruiken voor het ijken van de versterking. Vandaar dan ook een instelpotentiometer P1, waarmee men de gate-spanning binnen bepaalde grenzen kan variëren en de versterking van de schakeling op 0 dB afregelen. Op de tweede plaats is de versterking afhankelijk van de belastings-impedantie. Deze is samengesteld uit twee parallel geschakelde kringen: de primaire van de transformator en de serie-schakeling van R4 en C4. Deze laatstgenoemde kring heeft een aantal functies. De waarde van weerstand R4 past niet alleen de schakeling maximaal aan aan de 50 Ohm impe-

dantie van de kabel, maar trekt ook de frequentie-karakteristiek recht. De condensator C4 bepaalt de waarde van de laagste frequentie op ongeveer 70 kHz.

Nog enige opmerkingen:
- de hoogste doorlaatfrequentie van ongeveer 200 MHz wordt niet alleen bepaald door de waarde van R4 maar ook, en dat niet op de laatste plaats, door de waarde van de uitgangs-capaciteit van de MOSFET (ongeveer 2 pF);
- de waarde van weerstand R4 is zo gekozen dat men met behulp van de instelpotentiometer P1 de grootte van de versterking tussen +1 dB en −1 dB kan regelen;
- de voedings-spanning voor de schakeling moet worden gestabiliseerd en minstens + 12 V bedragen, een lagere waarde zou zowel de versterking als de maximaal te verwerken ingangs-spanning nadelig beïnvloeden. De weerstands-waarde van R5 is afhankelijk van de beschikbare voedings-spanning en moet zo worden berekend dat er door de zenerdiode D1 een stroom van ongeveer 5 mA vloeit. De voedingsspanning wordt niet, zoals vaak het geval is, via de uitgangs-kabel getransporteerd, maar moet via een extra kabeltje aan de probe worden aangeboden. In principe is het wel mogelijk signaal en voeding over één kabel te verzenden, maar de daarvoor noodzakelijke extra onderdelen maken de schakeling tamelijk gecompliceerd.

De mechanische bouw

De bouw van de probe is geschetst in de figuren 4/7.4 -3 en 4/7.4 -4. Op de achterkant van de probe na kan men voor alle onderdelen van de mechanische opbouw standaard onderdelen toepassen. Het metalen huisje is opgebouwd uit drie verschillende delen:
- een messing buisje met een diameter van 22 mm, een wanddikte van 1 mm en een lengte van 70 mm;
- het voorste gedeelte, samengesteld uit een HF-afschermbus van het type UG 106/U (wordt gebruikt voor UHF-chassisdelen van het type SO 239), waarvan men de flens verwijdert. Deze bus wordt in de messing buis vast gesoldeerd of gelijmd;
- een uit messing plaat samen te stellen achterste gedeelte volgens figuur 4/7.4 -4, voorzien van een gat voor de kabeldoorvoer en een knik-ontlasting.

Het printje, waarvan de lay-out getekend is in figuur 4/7.4 -5 wordt met figuurzaag en vijl precies op maat gemaakt, zodat het in de conische afschermbus past. De koper-banen aan de top van het printje dienen alleen maar als richtlijn voor het op maat vijlen en kunnen dus worden verwijderd. De dikkere massaleidingen aan de zijkanten van de print worden mechanisch versterkt door er stevige koperen draadjes op vast te solderen. Deze draden worden gebruikt voor het bevestigen van de print in de messing buis en zorgen daarbij tevens voor het elektronische contact tussen de massa van de schakeling en het metaal van de probe-behuizing. Lijmen is hierbij niet aan de orde, vanwege de onzekerheid of het elektrische contact dan wel onder alle omstandigheden verzekerd is. Vandaar: solderen maar!

7.4 Actieve, hoog-impedante Hf-tastkop

De meet-pen van de probe kan men uit een dikke breinaald (natuurlijk van metaal) vervaardigen volgens de in figuur 4/7.4 -3 getekende vorm. De met een sleutelvijltje aan te brengen inkeping is in de praktijk erg handig, want dit laat toe de pen van de probe achter een draadje vast te haken. Men heeft dan beide handen vrij voor het bedienen van de meetapparatuur en voor het afregelen van de schakeling waarin men meet.
De pen moet uiteraard op de centrale geleider van het printje worden vastgesoldeerd maar daar deze verbinding niet in staat is zware mechanische belastingen op te vangen is het aan te bevelen het geheel te verstevigen met behulp van twee draadjes, die men op de pen vastsoldeert en nadien in de vier aan weerszijden van de centrale geleider geboorde gaatjes vastzet.
De ingangs-condensator moet zo plat mogelijk op het oppervlak van de print worden aangebracht, want de afstand tussen dit onderdeel en de messing buis bepaalt voor een groot gedeelte de waarde van de totale ingangs-capaciteit van de schakeling en zoals reeds uitvoerig verklaard is het van het grootste belang deze capaciteit zo klein mogelijk te maken!
De massa-aansluiting van de probe is een verhaal apart. Men kan een soepel draadje door middel van een soldeerlipje bevestigen in het gat waarmee de volgens figuur 4/7.4 -4 samengestelde achterkant aan de messing pijp wordt bevestigd. De praktijk leert echter dat dit soort constructies om de haverklap afbreekt. Gebruik dus gevlochten afscherming, bijvoorbeeld de afscherming van een stukje RG-58 kabel, druk het plat, soldeer aan de ene kant een krokodil-klemmetje met isolatie (deze isolatie verzorgt de knikbeveiliging) en aan de andere kant een kabel-schoentje (ook dit onderdeel moet om dezelfde reden geïsoleerd zijn) en schroef dit schoentje vast onder de zelftapper waarmee de achterkant van de probe met de messing buis wordt verbonden. Wel een heleboel werk voor zo'n klein snoertje, toegegeven, maar het resultaat ziet er zeer professioneel uit en, wat belangrijker is, gaat ook jarenlang mee zonder de ellende van telkens opnieuw tijdens een meting afbreken.
Aan de achterkant van de probe wordt uiteraard een ongeveer 1 meter lange afgeschermde kabel bevestigd van het type RG-58. De enkelvoudige soepele geleider voor het toevoeren van de voedings-spanning kan men op meerdere plaatsen door middel van kabelbinders met de coax-kabel verbinden.

Het afregelen van de 0 dB-probe

Voor het afregelen van de probe heeft men een hoogfrequent generator (frequentie-bereik 1 à 5 MHz) en een gevoelige HF-millivoltmeter nodig. De generator wordt afgeregeld op een spanning van 71 mV (komt overeen met −10 dBm in 50 Ohm). Vervolgens sloopt men de print weer uit de probe en worden twee weerstanden van 100 Ohm parallel geschakeld tussen de pen van de probe en de massa-leiding van de print-plaat. Nadien voert men het hoogfrequente signaal eerst rechtstreeks naar de ingang van de HF-millivoltmeter toe en nadien met tussenschakeling van de probe. Men regelt de instelpotentiometer P1 af op identieke meter-uitslag.
Nadien soldeert men de print weer in de messing buis, schroeft de deksel vast en klaar is kees!

7.4 Actieve, hoog-impedante Hf-tastkop

Het afregelen van de −10 dB-probe

Het enige verschil met de in de vorige afregeling besproken procedure is dat men de ingangs-condensator C1 moet vervangen door een kleine keramische condensator van 2,2 pF. Nadien op de beschreven manier afregelen, waarbij P1 nu natuurlijk niet op identieke meter-uitslag moet worden afgeregeld, maar op een verzwakking van precies 10 dB met tussengeschakelde probe.

Test-resultaten

Enige volgens bovenstaande beschrijving nagebouwde probes werden in een gespecialiseerd hoogfrequent laboratorium grondig getest. De resultaten van de metingen staan in tabel 1.
Enige opmerkingen:
- de onderste en bovenste grens-frequentie werden gedefinieerd als de frequenties waarbij de versterking van de schakeling met 1 dB gedaald is ten opzichte van een signaal met een frequentie van 10 MHz.
- gebleken is dat de waarde van de hoogste grens-frequentie ook afhankelijk is van de lengte van de massa-verbinding! Tot signalen met een frequentie van ongeveer 50 MHz is dit verschijnsel echter te verwaarlozen.
- de eigen ruis van de probe is opgemeten omdat dit van belang is als men de probe gebruikt als actieve antenne of als veldsterkte-meter (ja, dat kan ook!).

Onderdelenlijst
weerstanden

1 x 68 Ohm
1 x 270 Ohm
1 x 1,8 k-Ohm
1 x 12 k-Ohm
1 x 1 M-Ohm

Potentiometer

1 x 100 k-Ohm

Condensatoren

2 x 1 nF keramisch, meerlaags
1 x 10 nF keramisch, meerlaags
2 x 100 nF MKH

Halfgeleiders

1 x BF 982 (Philips)
1 x zenerdiode 12 V, 400 mW

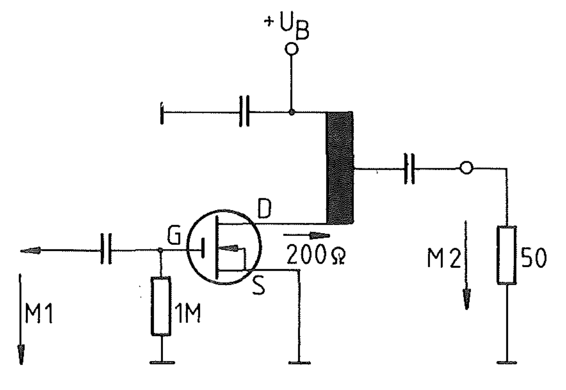
Diversen

1 x spoelkern Siemens
B 62152-A7-X30

7.4 Actieve, hoog-impedante Hf-tastkop

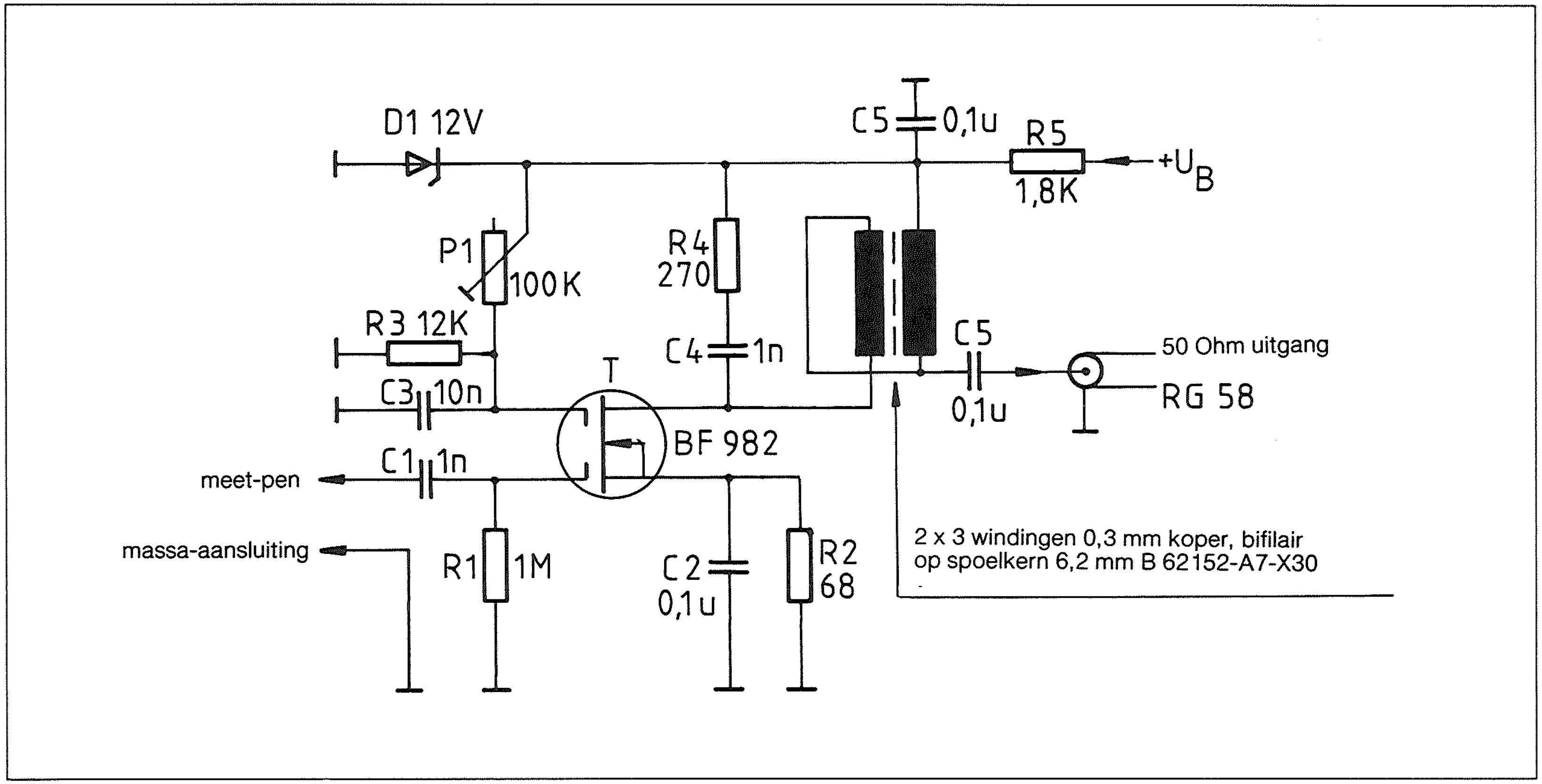
Tabel 1 Test-resultaten.

Grootheid	probe 0 dB	probe −10 dB	Eenheid
ingangscapaciteit Ce	6,8	2,8	pF
idem, zonder behuizing	5,4	2,1	
laagste grens-frequentie	70	70	kHz
hoogste grens-frequentie	200	200	MHz
uitgangs-ruis:			
- bij 1 MHz, Pr/dBm/Hz	−137	−137	
- bij 30 MHz, idem	−157	−157	
stroomverbruik	13	13	mA
1 dB comp.-punt PindBm	+ 4	+ 4	



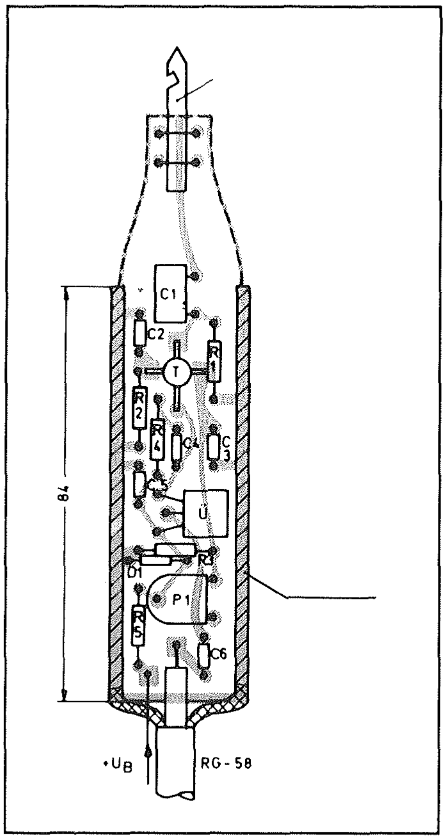
$$V_U = \frac{M2}{M1} = \frac{1}{2} \cdot S \cdot 200\Omega$$

Figuur 4/7.4 -1: Het principe van de schakeling

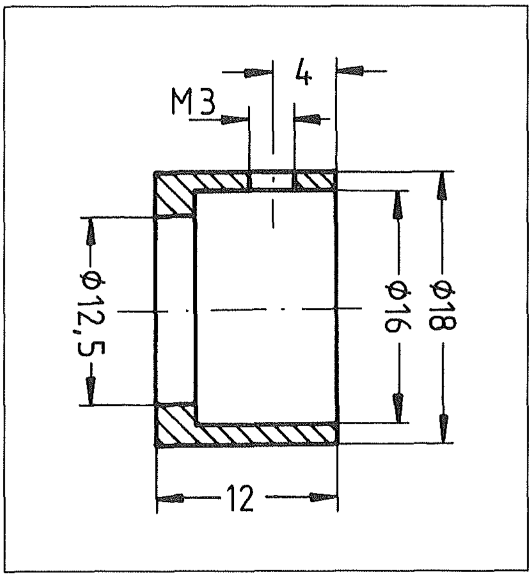


Figuur 4/7.4 -2: Het praktische schema van de HF-probe

7.4 Actieve, hoog-impedante Hf-tastkop

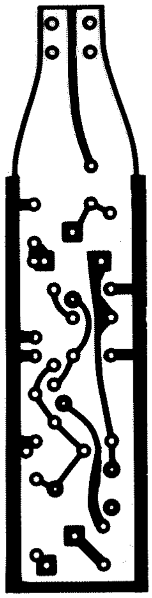


Figuur 4/7.4-3: Bestukking van de print-plaat en de inbouw van de metalen behuizing



Figuur 4/7.4: Bouwtekening van het achterste deksel van de probe

7.4 Een actieve hoog-impedante HF-tastkop



Figuur 4/7.4 -5: het printje

4/7.5

Een automatische meet-versterker

Deze breedband-versterker regelt zijn versterkings-factor automatisch in 16 stappen tussen 64 en 32768 (decimale werking) of tussen 1 en 32768 (binaire werking). De schakeling meet de grootte van het uitgangs-signaal en stuur een op- of neer-teller in de optel- of aftel-mode. De vier digitale uitgangen van deze teller sturen reed-relais, die de versterking van de eigenlijke versterker zo aanpassen, dat het uitgangs-signaal steeds binnen een instelbaar "venster" valt. De versterkings-factor kan (na enige berekeningetjes) worden afgelezen van vier LED's die de vier stuursignalen op de uitgangen van de teller zichtbaar maken. De versterker zélf is samengesteld uit vier in serie geschakelde operationele versterkers. Door middel van de reed-relais wordt de schakeling omgeschakeld tussen ofwel spannings-volger (spannings-versterking gelijk aan 1) ofwel niet-inverterende versterker (spanningsversterking van de vier opeenvolgende trappen respectievelijk 2, 4, 16 en 256).

Het volledige praktische schema van de schakeling is getekend in figuur 4/7.5 -1. De vier operationele versterkers van het type LF 355 zijn door middel van weerstanden tussen de inverterende ingang en massa en weerstanden tussen dezelfde ingang en de uitgang geschakeld als niet inverterende versterkers. De waarde van de terugkoppel-weerstanden legt de versterking van iedere trap vast op de reeds genoemde waarde. Over de terugkoppel-weerstanden zijn echter de contacten van de reed-relais geschakeld. Zijn deze contacten gesloten, dan wordt de inverterende ingang van de versterker rechtstreeks doorverbonden met de uitgang en de schakeling verandert in een spanningsbuffer met een versterking gelijk aan 1. De vier reed-relais worden door middel van schakel-transistoren gestuurd uit de vier uitgangen van de op- en neer-teller CD 4029. Zijn alle vier de uitgangen "L", dan ontvangen de transistoren geen signaal en de relais zijn niet bekrachtigd. De vier versterkers staan dan ingesteld in de versterker-mode en de totale versterking van de schakeling is gelijk aan: 2 x 4 x 16 x 256 = 32768.
Als de teller met pulsen wordt gestuurd, dan gaan de vier uitgangen naar keuze de BCD- of binaire telcode doorlopen. Na de eerste tel-puls wordt uitgang Q1 (pen 6 van het IC) "H". REL 1 wordt bekrachtigd, de eerste operationele versterker gaat naar de buffer-mode. De totale versterking van het systeem is nu gelijk aan: 1 x 4 x 16 x 256 = 16384. Staat de teller in de binaire tel-cyclus, dan worden op het laatst alle uitgangen "H". De vier relais worden bekrachtigd, alle operationele versterkers zijn als spannings-volger geschakeld en de totale

7.5 Automatische meet-versterker

versterking van de schakeling is gelijk aan: 1 x 1 x 1 x 1 = 1. Staat de teller echter in de BCD-cyclus, dan is de laatste combinatie op de uitgangen "H" - "L" - "L" - "H" (negen pulsen geteld). De eerste en laatste operationele versterker zijn dan als buffer geschakeld, de twee middelste als versterker. De totale versterking daalt tot: 1 x 4 x 16 x 1 = 64.

We gaan nu de besturing van de teller bespreken. De uitgangsspanning van de versterker wordt gelijkgericht door de diode, afgevlakt door de condensator van 10 μF en aangeboden aan de potentiometer van 10 k-Ohm. Op de loper van dit onderdeel staat dus een gelijkspanning, waarvan de waarde rechtstreeks afhankelijk is van de grootte van het wisselspannings-signaal op de uitgang van de versterker. Deze gelijkspanning wordt aangeboden aan de niet inverterende ingangen van twee operationele versterkers van het type 741, die als comparator zijn geschakeld. Op de negatieve ingangen van deze onderdelen worden instelspanningen aangeboden, die het "venster" vastleggen. Er zijn drie instelpotentiometertjes van 50 k-Ohm in het schema opgenomen, waarmee men zowel de grootte van het "venster" als de ligging van het "venster" in het volledige voedings-spanningsbereik kan instellen. In het schema is als voorbeeld de bovenste waarde van het "venster" ingesteld op 6,5 V en de onderste waarde op 1,9 V. De clock-ingang van het tel-IC is aangesloten op een gestuurde astabiele multivibrator, opgebouwd uit twee NAND-poorten van het type CD 4011. Deze oscillator wekt een blokpuls op met een zeer lage frequentie en deze clock-pulsen worden aan de tel-ingang van de CD 4029 aangeboden als de uitgang van de EXOR-poort CD 4030 "L" is.

We gaan nu de werking van de schakeling bespreken aan de hand van een voorbeeld. Stel dat er een ingangs-signaal van enige volt op de ingang van de versterker wordt aangelegd en de schakeling nadien met de voedings-spanning wordt verbonden. De vier uitgangen van de CD 4029 gaan naar "L". De vier versterkers staan nu ingesteld in de versterker-mode en het ingangs-signaal wordt niet minder dan 32768 maal versterkt! Uiteraard lopen de versterkers vast. De uitgangs-spanning wordt gelijkgericht en op de loper van de 10 k-Ohm potentiometer achter de gelijkrichter ontstaat nu een gelijkspanning die in ieder geval veel hoger is dan 6,5 V, de grootste waarde van het "venster". De uitgangen van beide comparatoren worden "H". De uitgang van de EXOR gaat naar "L" en dit signaal stuurt dank zij de extra invertor een "H"-signaal op de stuur-ingang van de multivibrator. De clock-pulsen worden aangeboden aan de clock-ingang van de teller. Maar ondertussen zijn de twee hoge comparator-uitgangen ook verwerkt door de twee NAND-poorten en deze sturen een "H"-signaal naar pen 10 van de CD 4029. Het IC wordt in de optel-mode geschakeld. De uitgangen van de teller doorlopen nu, op het ritme van de clock, alle 10 of 16 stappen van de cyclus. De relais worden bekrachtigd en steeds meer operationele versterkers worden van de versterker- naar de buffer-functie omgeschakeld. De versterking van het systeem gaat dus na iedere clock-puls met een factor 2 dalen en de spanning op de loper van de 10 k-Ohm potentiometer volgt deze daling. Na enige clock-pulsen is de versterking van het systeem zo ver ge-

7.5 Automatische meet-versterker

daald, dat de gelijkgerichte uitgangs-spanning op de loper van de potentiometer kleiner wordt dan 6,5 V. De bovenste comparator klapt om. De uitgang van de EXOR-poort gaat dan naar "H", dit signaal wordt geïnverteerd en de clock-pulsen worden geblokkeerd. De teller blijft staan in de stand waarin hij zich bevindt en zolang de grootte van het ingangs-signaal niet verandert blijft de schakeling stabiel. Zou nu echter de ingangs-spanning flink gaan dalen, dan gebeurt er het volgende. De dalende ingangs-spanning heeft tot gevolg dat de spanning op de loper van de 10 k-Ohm potentiometer onder de onderste grens van het "venster" (1,9 V) valt. De onderste comparator klapt nu ook om. De EXOR reageert onmiddellijk en de clock-pulsen worden nu weer aangeboden aan de ingang van de teller. De twee lage spanningen op de uitgangen van de comparatoren hebben echter tot gevolg dat de spanning op de up-down-ingang (pen 10) van de CD 4029 van waarde verandert. De teller belandt nu in de aftelcyclus en de versterking van het systeem gaat stijgen tot de spanning op de loper van de 10 k-Ohm potentiometer weer stijgt tot een waarde die groter is dan 1,9 V.
Besluit: het systeem regelt de versterking van de versterker automatisch tot een waarde waarbij de spanning op de loper van de 10 k-Ohm potentiometer tussen de grenzen 6,5 en 1,9 V ligt.
Door het instellen van de drie 50 k-Ohm potentiometertjes kan men uiteraard naar hartelust experimenteren met het instellen van het "venster".
Pen 9 van de CD 4029 is aangesloten op een omschakelaartje. Met deze schakelaar kan men de teller omschakelen tussen BCD- en binair-tellen en de grenzen van het versterkingsbereik aanpassen aan de behoeften.
Door het gebruik van moderne FET operationele versterkers met grote band-breedte ligt de doorlaat-band van de meet-versterker tussen 10 Hz en ongeveer 1 MHz. De maximale top-tot-top uitgangs-spanning is ongeveer 20 V.
De schakeling moet worden gevoed uit twee symmetrische spanningen van ± 12 V.

Onderdelenlijst weerstanden

2 x 470 Ohm
4 x 560 Ohm
5 x 1 k-Ohm, 1%
1 x 3 k-Ohm, 1%
4 x 4,7 k-Ohm
1 x 15 k-Ohm, 1%
2 x 10 k-Ohm
4 x 220 k-Ohm
1 x 255 k-Ohm, 1%

Potentiometers

1 x 10 k-Ohm, lineair (of trimmer)
3 x 50 k-Ohm, lineair (of trimmer)

Condensatoren

2 x 100 nF, MKH
4 x 220 nF, MKH
1 x 1 μF, tantaal
1 x 10 μF, printelco

7.5 Automatische meet-versterker

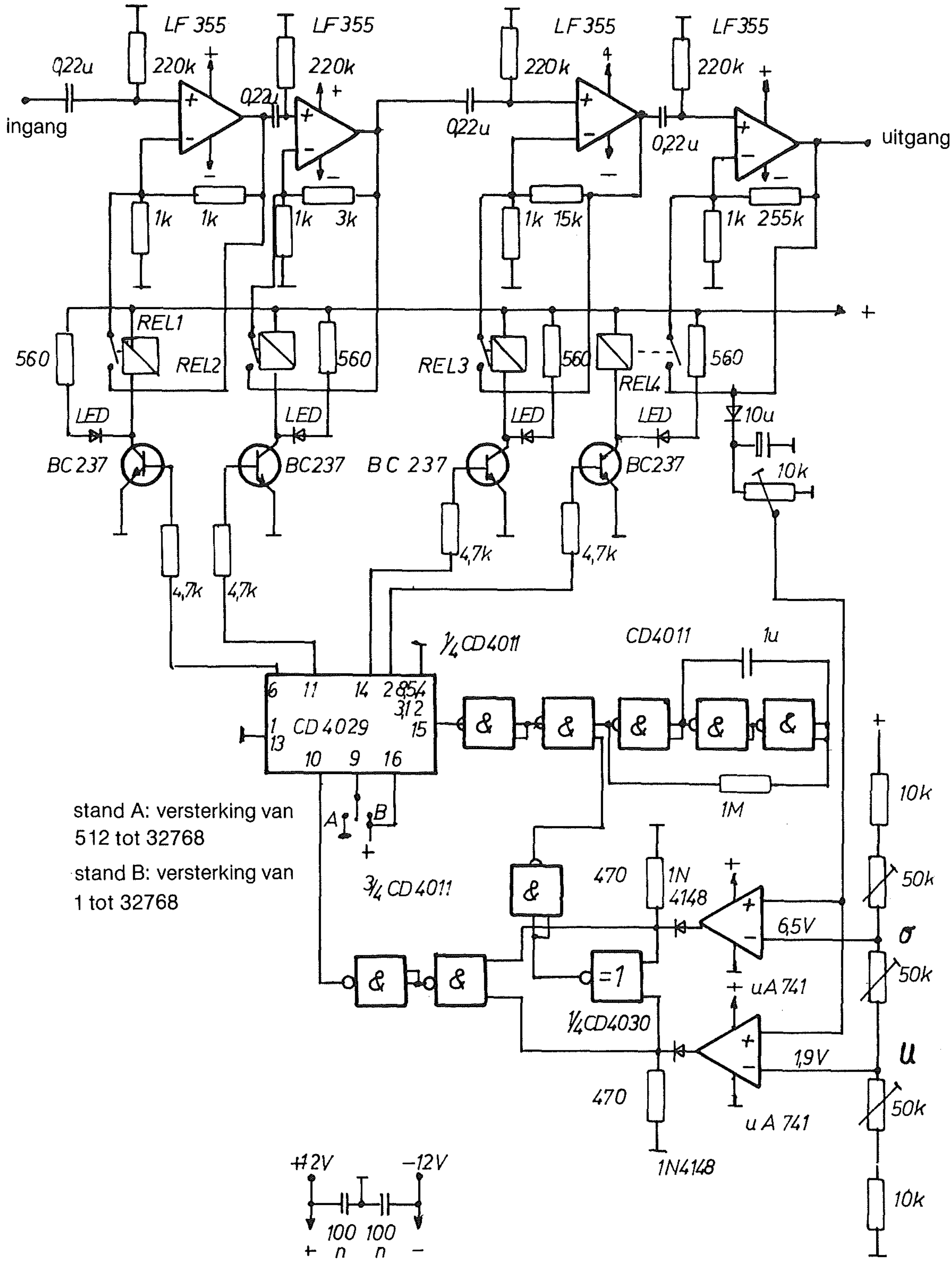
Halfgeleiders

3 x 1 N 4148
4 x LED, rood 5 mm
4 x BC 107 of BC 237
2 x μA 741, mini-dil
4 x LF 355, mini-dil
2 x CD 4011 B
1 x CD 4029 B
1 x CD 4030 B

Diversen

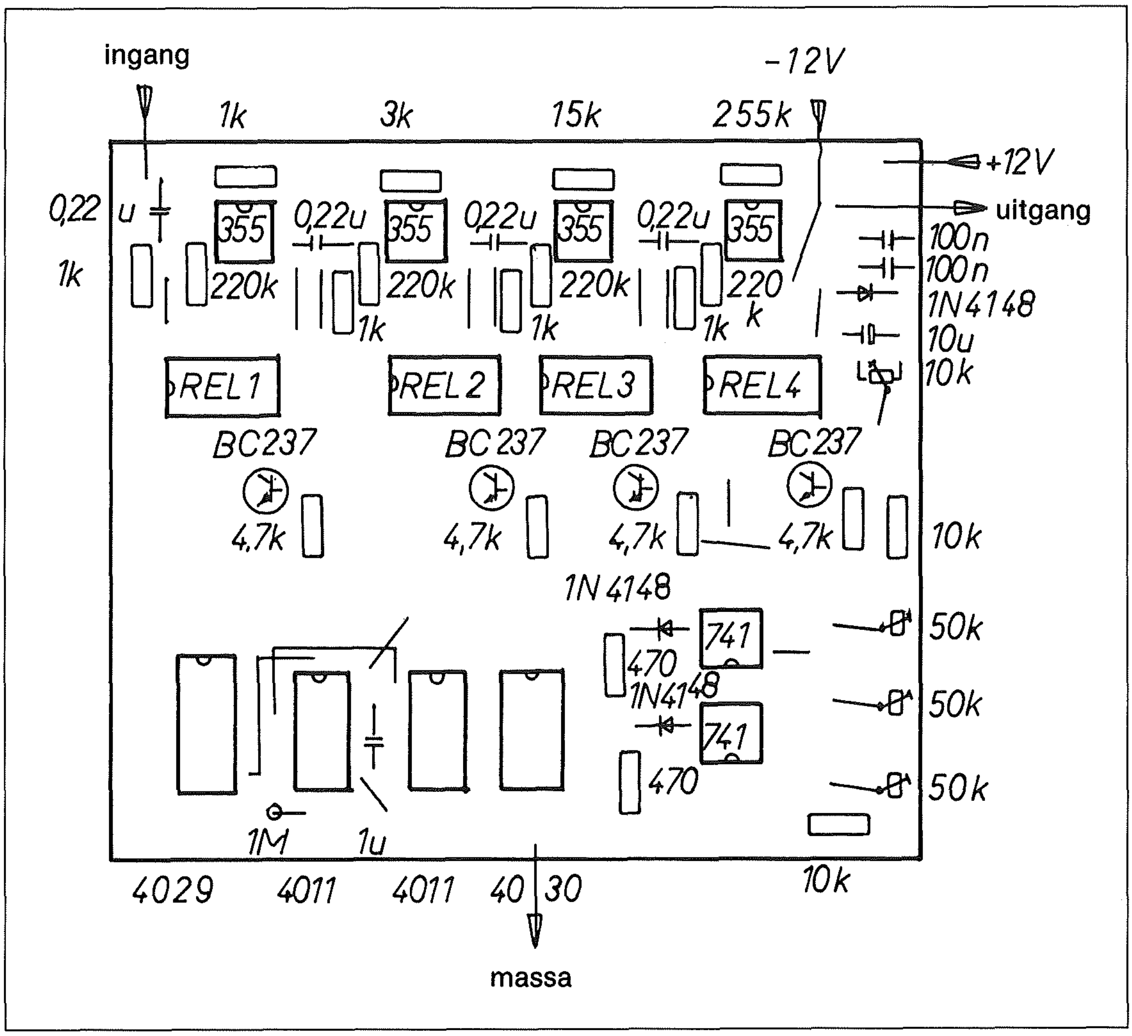
4 x reed-relais, 12 V, dual-in-line

7.5 Automatische meet-versterker



Figuur 4/7.5 -1: Het volledige schema van de automatische versterker

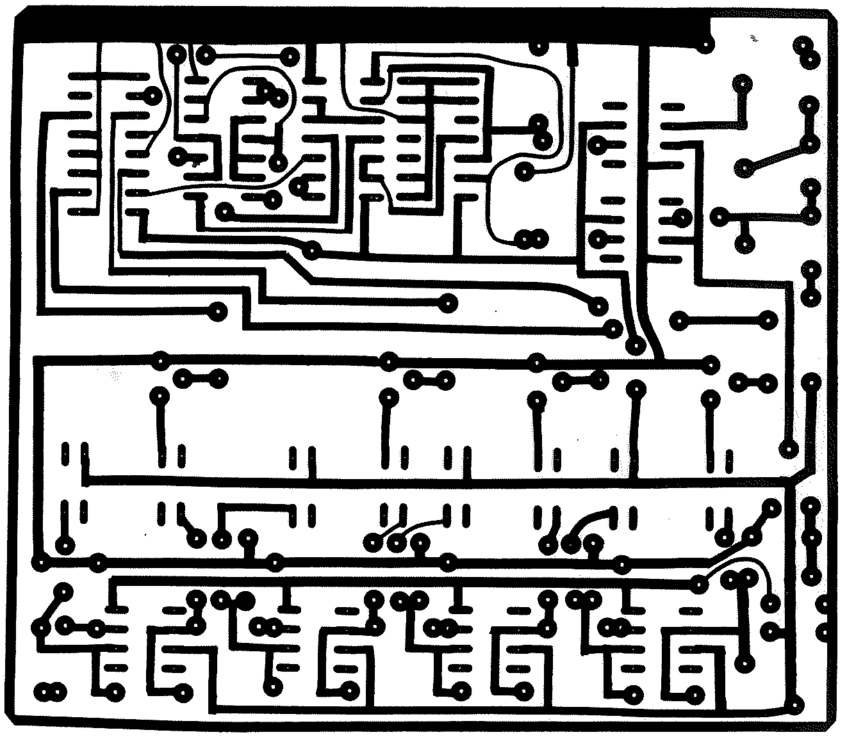
7.5 Automatische meet-versterker



Figuur 4/7.5 - 2: De componenten-opstelling voor de print

Noot bij figuur 2:
De indicatie-LED's en de voorschakel-weerstanden zitten niet op de print. Wil men deze onderdelen op de frontplaat van de behuizing monteren, dan moeten de stuursignalen worden afgetakt van de collector-aansluitingen van de vier BC 237 transistoren. Deze gaan naar de kathodes van de LED's. De anodes worden, in serie met 560 Ohm weerstanden, met de +12 V voeding verbonden. Een gedoofde LED komt overeen met het ingeschakeld zijn van de betreffende versterker-trap!

7.5 Een automatische meet-versterker



Figuur 4/7.5 -3: de lay-out van de print

4/7.6

1 GHz digitale frequentie- en periodemeter

Inleiding
In dit hoofdstuk wordt een zeer professionele digitale frequentiemeter beschreven, die toch vrij eenvoudig is na te bouwen.
Een kort overzicht van de specificaties:
- meet perioden, frequenties en aantallen pulsen;
- uitlezing met 8 decaden;
- een universele voorversterker met een frequentiebereik van 0 Hz tot 50 MHz met een gevoeligheid van gemiddeld 20 $mV_{effectief}$ en met instelbare hysteresis voor het onderdrukken van stoorsignalen;
- de hysteresis potentiometer heeft een automatische omschakeling tussen AC en DC koppeling via een relais, zodat men zeer lage frequenties kan meten;
- een tweede voorversterker voor HF-metingen met een bereik van 50 MHz tot 1 GHz met een gemiddelde gevoeligheid van 20 $mV_{effectief}$;
- slechts één draaischakelaar voor het instellen van alle meetbereiken en meetfuncties;
- optische indicatie door middel van drie LED's van de meetfunctie;
- tijdbasis uitgerust met een zeer stabiele kristaloscillator van 2 MHz.

De zes standen van de bereiken- en functie-schakelaar hebben de volgende functies:
- stand 1 is bedoeld voor het tellen van pulsen;
- stand 2 meet de duur van een enkelvoudige periode van het ingangssignaal, met een bereik van 100 s tot 1 ms;
- stand 3 meet de gemiddelde periodeduur van tien opeenvolgende perioden van het ingangssignaal, de resolutie van deze meting bedraagt 0,1 μs;
- stand 4 meet frequenties tussen 0 en 50 MHz met een poorttijd van 1 s;
- stand 5 meet dezelfde frequenties, echter met een poorttijd van 0,1 s en een meetfrequentie van 5 metingen per seconde;
- stand 6 meet frequenties tussen 50 en 1.000 MHz.

Het blokschema
De schakeling kan in principe ingedeeld worden in vier grote delen, namelijk:
- de laagfrequent voorversterker;
- de hoogfrequent voorversterker;
- de digitale meetschakeling met uitlezing;
- de voeding.

Deze vier blokken zijn op vier printen ondergebracht, namelijk een print voor de LF-voorversterker, een print voor de HF-voorversterker, een print voor de uitlezing en de bediening en een print voor het digitale deel met de voeding.
De twee voorversterkers moeten ondergebracht worden in afgeschermde behuizin-

gen, die van blik of printplaat gemaakt moeten worden.
In de volgende paragrafen zal de werking en de bouw van de vier grote blokken afzonderlijk beschreven worden.

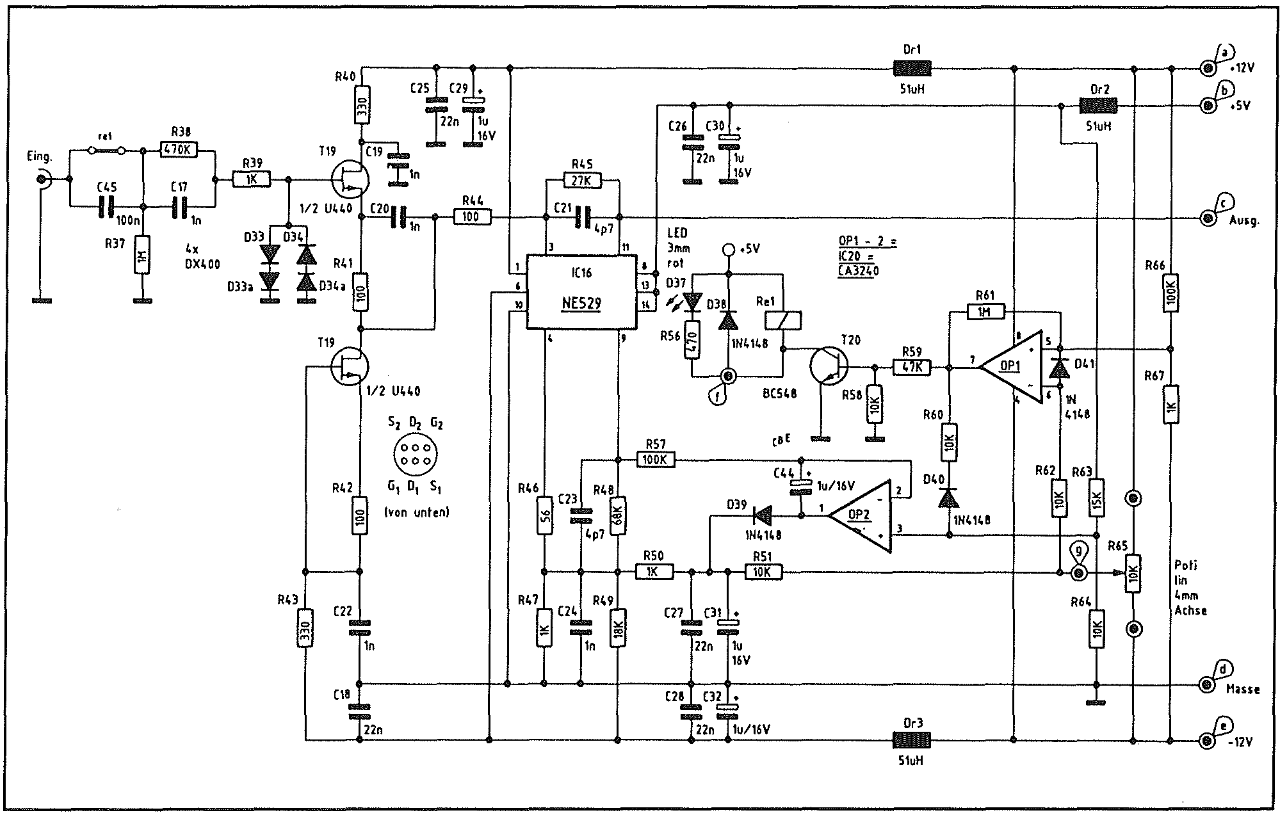
De LF-voorversterker

Het schema van de laagfrequent voorversterker is getekend in figuur 4/7.6-1.

Het ingangssignaal wordt ofwel capacitief (C45) ofwel galvanisch (relaiscontact Rel) doorgekoppeld naar de afsluitweerstand R37 van 1 MΩ. Deze weerstand legt de ingangsimpedantie van de schakeling vast. De besturing van het relaiscontact zal in een later stadium worden uitgelegd.
Het signaal gaat vervolgens naar een zeer effectief werkende overbelastingsbeveiliging.

Deze is samengesteld uit de weerstanden R38 en R39, de condensator C17 en de vier dioden D33, D33a, D34 en D34a. De werking zal duidelijk zijn. De dioden blijven gesperd zolang de spanning op de rechter aansluiting van R39 kleiner blijft dan ongeveer 1,5 V. Wordt deze spanning groter, dan gaan de dioden geleiden en de stroom die door de dioden gaat vloeien zorgt voor een spanningsval over de weerstanden R38 en R39.

Nu hebben dioden een bepaalde spercapaciteit. Deze capaciteit vormt met de weerstanden een laagdoorlaatfilter, dat het frequentiebereik van de schakeling ongunstig beïnvloedt.
Vandaar dat voor de vier diode geen gewone signaaldioden gebruikt mogen worden.



Figuur 4/7.6-1: Het praktische schema van de laagfrequent voorversterker.

Men moet speciale capaciteitsarme dioden toepassen, in dit schema is gekozen voor de DX400.
Deze beveiligingsschakeling beveiligt de schakeling tegen piekspanningen tot 100 V in het frequentiebereik tot ongeveer 10 MHz. Voor hogere frequenties werkt de schakeling minder effectief, maar men kan bij 50 MHz toch nog 10 V aanleggen zonder dat de daaropvolgende FET beschadigd wordt! Het zal in de praktijk maar zelden voorkomen dat men dergelijke grote signalen met dergelijke hoge frequenties moet meten!

De eerste trap van de voorversterker is uitgevoerd met een dubbele FET T19. De onderste helft van dit paar is geschakeld als constante stroombron, die de bovenste helft voorziet van een constante drainstroom. Deze schakeling is welbekend en wordt in de HF-elektronica algemeen gebruikt voor het opbouwen van een bufferschakeling met een hoge ingangsimpedantie. Alleen met een dergelijke schakeling is het mogelijk de ingangsimpedantie van 1 MΩ tot 50 MHz te handhaven! Bovendien is het absoluut noodzakelijk gebruik te maken van een dubbele FET. Zoals bekend zijn FET's zeer temperatuurgevoelige elementen en zou men twee afzonderlijke FET's gebruiken, dan zou het kunnen gebeuren dat het instelpunt van de schakeling te veel verloopt.

De tweede trap van de versterker bestaat uit een speciale verschilversterker van het type NE529. Deze versterker heeft niet alleen een differentiële ingang (pennen 3 en 4), maar ook een differentiële uitgang (pennen 11 en 9) op TTL-niveau. Het ingangssignaal wordt aangeboden aan pen 3 en het versterkte signaal wordt afgenomen van pen 11. Tussen de uitgang en de ingang is een terugkoppelnetwerk (R44, R45, C21) opgenomen, dat zorgt voor het instellen van de versterking.

De tweede ingang en de tweede uitgang worden gebruikt voor het organiseren van een soort automatische versterkingsregeling, waardoor de schakeling zichzelf voor iedere grootte van het ingangssignaal instelt op maximale gevoeligheid. Deze regeling werkt echter alleen als de ingang via het gesloten relaiscontact galvanisch met de versterker verbonden is! De regeling zorgt er dus voor dat voor iedere gelijkspanning op de ingang het meest ideale instelpunt van de NE529 wordt ingesteld.
Deze regeling werkt vrij ingewikkeld, maar is toch wel gemakkelijk te doorgronden.
Als de potentiometer R64 in de onderste stand staat, dan zal de spanning op de inverterend ingang van OP1 kleiner zijn dan de spanning op de niet-inverterende ingang. Deze laatste ingang wordt immers door middel van de spanningsdeler R66/R67 ingesteld op een vaste drempelspanning. Het gevolg is dat de uitgang van deze operationele versterker positief wordt. Deze positieve spanning bekrachtigt via de transistor T20 het relais Re1. Bovendien gaat de LED D37 oplichten als bewijs dat de versterker in zijn DC-stand is geschakeld.
Het positief worden van de uitgang van OP1 heeft tot gevolg dat de niet-inverterende ingang van OP2 op de door de spanningsdeler R63/R64 vastgelegde waarde wordt ingesteld. De diode D40 gaat immers sperren!
De uitgangsspanning op de tweede uitgang van IC16 (pen 9) wordt nu door OP2 geïntegreerd. Deze spanning gaat immers via de weerstand R57 naar de inverteren-

de ingang van OP2, deze ingang gaat via de condensator C44 naar de uitgang. De uitgangsspanning van de op-amp OP2 stelt zich dus in op een gelijkspanning, waarvan de gemiddelde waarde afhankelijk is van de uitgangsspanning van de versterker IC16. Deze spanning stuurt via de diode D39 en de weerstand R50 de tweede ingang (pen 4) van de differentiële versterker IC16.
Op deze manier wordt er dus een automatische gelijkspanningsinstelling van deze versterker gecreeerd. Het gevolg is dat de versterker alle signaalgroottes goed zal versterken en er steeds een mooie TTL-signaal van zal maken.
Dit systeem werkt zo goed dat een signaalspanning van 20 mV, gesuperponeerd op een gelijkspanning van ongeveer 2 V, nog goed verwerkt wordt!

Deze automatische instelling van het instelpunt heeft wél tot gevolg dat de schakeling zonder signaal op de ingang zo gevoelig wordt, dat de 100 Hz stoorspanningen die via de voeding binnendringen, versterkt worden. De frequentiemeter zal dus 100 Hz aanwijzen. Een kleine schoonheidsfout, die echter niet opweegt tegen het zeer grote praktische voordeel van een automatische gevoeligheidsinstelling. Als men overigens de ingang met een punt in een schakeling verbindt, dan zal de meter onmiddellijk naar een uitlezing 0 gaan.

Voor wisselspanningskoppeling werkt de schakeling anders. Verdraait men de potentiometer R65 uit zijn onderste stand, dan zal de spanning op de inverterende ingang van OP1 stijgen. Het gevolg is dat deze comparator omklapt en zijn uitgang negatief wordt. De transistor T20 gaat sperren, het relais valt af en de condensator C45 wordt in serie geschakeld in de ingangskring van de versterker. Maar bovendien gaat de diode D40 nu geleiden, waardoor de referentiespanning op de niet-inverterende ingang van OP2 wegvalt. De integrator wordt uitgeschakeld en daarmee ook de automatische gevoeligheidsregeling. Deze functie wordt nu overgenomen door de reeds genoemde potentiometer R65. Hoe meer men de loper naar boven verplaatst, hoe groter de spanning wordt die via de weerstanden R51 en R50 aan de differentiële ingang (pen 4) van de versterker IC16 wordt aangelegd. De automatische regeling is nu dus vervangen door een manuele, hetgeen voor wisselspanningen zeer handig is omdat men dan steeds de versterking optimaal kan afregelen op de vorm van het ingangssignaal.

De drie voedingsspanningen van +12 V, +5 V en -12 V worden grondig ontkoppeld met behulp van spoeltjes (Dr1, Dr2, Dr3) en condensatoren (C25, C29, C27, C31, C28, C32).
Zoals reeds gezegd levert de NE529 op pen 11 een TTL-compatibele spanning af, die rechtstreeks door het digitale deel van de schakeling verwerkt kan worden.

Onderdelenlijst 50 MHz versterker

Weerstanden, 1/8 W:

R37,R61	=	1 MΩ
R38	=	470 kΩ
R39,R47,R50, R67	=	1 kΩ
R40,R43	=	330 Ω
R41,R42,R44	=	100 Ω
R45	=	27 kΩ
R46	=	56 Ω
R48	=	68 kΩ
R51,R58,R60, R62,R64	=	10 kΩ

7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter

R56	=	470	Ω
R57,R66	=	100	kΩ
R59	=	47	kΩ
R63	=	15	kΩ

Potentiometer, mono, lin:

R65	=	10	kΩ

Condensatoren:

C17,C19,C20,				
C22,C24	=	1	nF	ceramisch
C18	=	22	nF	ceramisch
C21,C23	=	4,7	pF	ceramisch
C25,C26,C27,				
C28	=	22	nF	ceramisch
C29,C30,C31,				
C32,C44	=	1	μF	16 V
C45	=	100	nF	

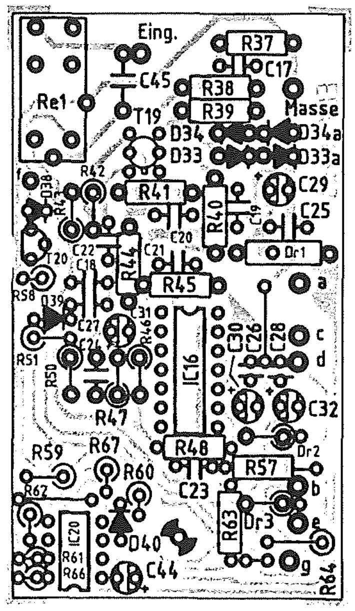
Halfgeleiders:

D33,D33a,		
D34,D34a	=	DX400
D37	=	LED rood 3 mm
D38,D39,		
D40,D41	=	1N4148
T19	=	U440
T20	=	BC548
IC16	=	NE529
IC20	=	CA3240

Diversen:
Dr1,Dr2,Dr3 = 51 μH
Re1 = N5P, National

De bouw van de 50 MHz versterker
De print voor de 50 MHz voorversterker is getekend in figuur 4/7.6-2 op de transparante printpagina. De onderdelenopstelling volgt uit figuur 4/7.6-3.

De meeste onderdelen worden loodrecht in de print gesoldeerd. De potentiometer R65 zit niet op deze print, maar wordt via de uitleesprint verbonden met de twee voedingsspanningen. De loper van de potentiometer moet nadien bij de samenbouw met een kort draadje verbonden worden met aansluitpunt g van de print. De diode D41 wordt op de koperzijde van de print rechtstreeks tussen beide ingangen van OP1 gesoldeerd.

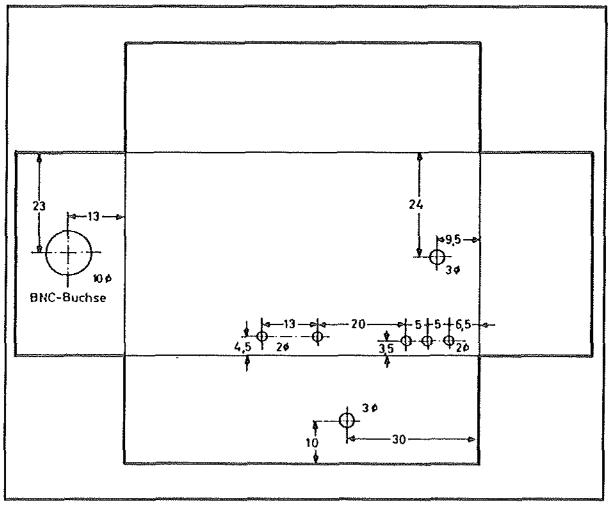


Figuur 4/7.6-3: De componentenopstelling van de 50 MHz voorversterker.

Nadat de print volledig gemonteerd is, moet deze ingebouwd worden in een metalen afscherming. De afmetingen en het boorplan van deze afscherming zijn getekend in figuur 4/7.6-4. De kleine gaatjes in de bodem zijn bedoeld voor het doorvoeren van de voedingsverbindingen en overige aansluitingen.
Het is immers de bedoeling dat bij de eindmontage de afscherming volledig wordt gesloten door het aanbrengen van een deksel, die tegen de zijwanden wordt gesoldeerd.

7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter

Het ene 3 mm gat in de bodem wordt gebruikt om de voorversterker op de basisprint te bevestigen. Nadat de print is voorzien van draadjes kan deze in de afscherming worden geschroefd. In het genoemde gat in de bodem wordt nu een M3x15 boutje bevestigd. In de binnenzijde van de afscherming komt onder de kop van het boutje een soldeerlipje, aan de buitenzijde wordt het boutje vastgezet met een moertje. De massa van de schakeling kan nu met het soldeerlipje verbonden worden. Het uitstekende stuk van het boutje wordt later gebruikt om de afgeschermde voorversterker op de basisprint vast te zetten.



Figuur 4/7.6-4: De afscherming voor de 50 MHz voorversterker.

De BNC-ingang wordt vervolgens rechtstreeks op het blik gemonteerd, men zal dan vaststellen dat de centrale pen van de BNC-connector precies op gelijke hoogte zit met de ingang van de print.

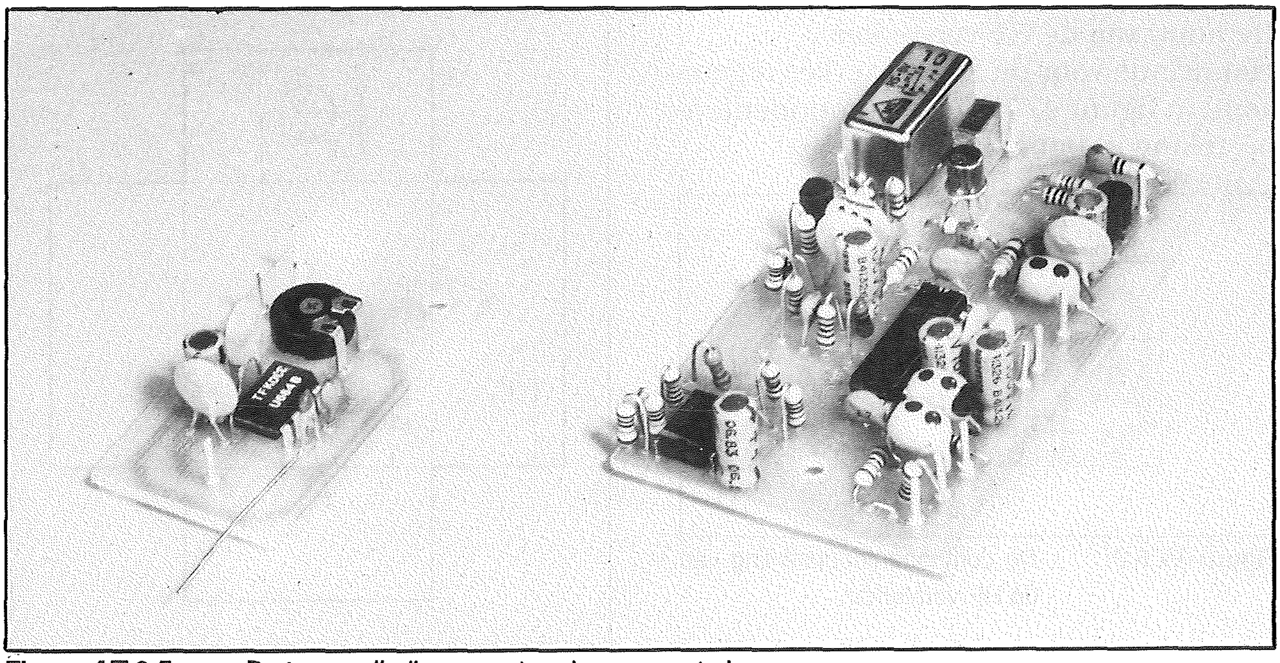
Tot slot van de beschrijving van de 50 MHz voorversterker geeft de rechter afbeelding op figuur 4/7.6-5 een indruk van de kompleet gemonteerde print.

De HF-versterker
Het schema van de hoogfrequente versterker is getekend in figuur 4/7.6-6.

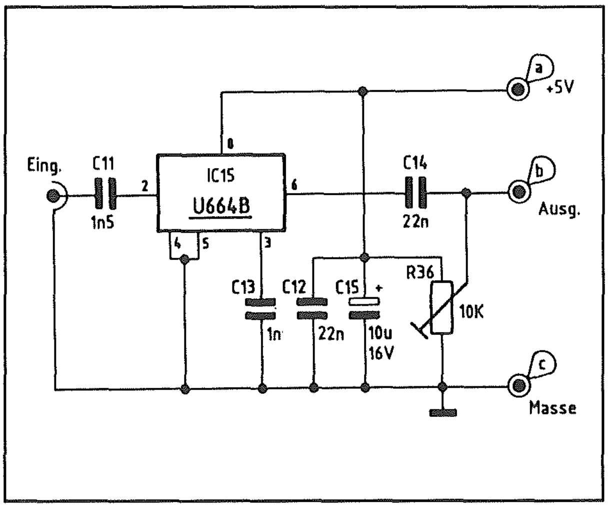
De volledige schakeling zit in een speciaal IC van Telefunken, de U664B. De overige onderdelen zijn alleen noodzakelijk voor het instellen van deze schakeling.
Het te meten signaal wordt capacitief via de scheidingscondensator C11 aan de ingang van het IC aangeboden. Het signaal wordt versterkt, maar ook in frequentie gedeeld! De U664B bevat namelijk een interne frequentiedeler met een deelverhouding van 64. De uitgang levert een TTL-compatibele spanning af, die via de condensator C14 naar het digitale deel van de schakeling wordt geleid. De instelpotentiometer R36 wordt gebruikt voor het eenmalig instellen van de gelijkspanningskoppeling naar de eerste TTL-poort in het digitale deel van de schakeling. Door de capacitieve koppeling via C14 varieert het uitgangssignaal van de HF-voorversterker immers rond 0 V. Nu kan een dergelijk signaal niet door TTL-schakelingen verwerkt worden. Vandaar dat het noodzakelijk is via R36 het signaal te superponeren op een positieve spanning, zodat aan de standaard TTL-signaalnormen ("L" < 0,4 V, "H" > 2,4 V) wordt voldaan.
De overige condensatoren in het schema zorgen voor de noodzakelijke voedingsontkoppeling en stabiliseren de werking van het IC.

De interne 64-deler heeft wél tot gevolg dat de poorttijd van de meter moet worden aangepast. Als men signalen via deze voorversterker meet wordt de poorttijd gelijk aan 0,64 s, zodat de uitlezing toch precies het aantal pulsen per seconde weergeeft.

7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter



Figuur 4/7.6-5: De twee volledig gemonteerde voorversterkers:
links: de HF-versterker;
rechts: de LF-versterker.



Figuur 4/7.6-6: Het praktische schema van de hoogfrequent versterker.

Door deze abnormale poorttijd wordt de interne frequentiedeling gecompenseerd.

Zoals reeds gezegd heeft de U664B een gemiddelde gevoeligheid van 20 $mV_{effectief}$.

Dit geldt in het frequentiegebied tussen 50 MHz en 1 GHz. Men kan echter, met gereduceerde gevoeligheid, zonder probleem tot 1,2 GHz meten. Hetzelfde geldt voor de laagste waarden van de doorlaatband. Met gereduceerde gevoeligheid kan men met deze voorversterker meten tot 20 MHz, zodat beide voorversterkers elkaar behoorlijk overlappen.

Onderdelenlijst HF-versterker

Instelpotmeter, 10x5 mm, liggend:

R36 = 10 kΩ

Condensatoren:

C11 = 1,5 nF ceramisch
C12,C14 = 22 nF ceramisch
C13 = 1 nF ceramisch
C15 = 10 µF 16 V

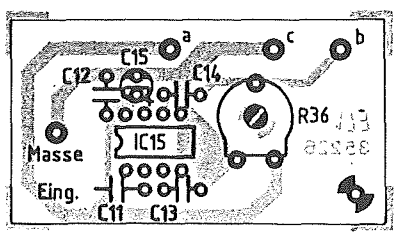
Halfgeleiders:

IC15 = U664B

7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter

De bouw van de HF-versterker

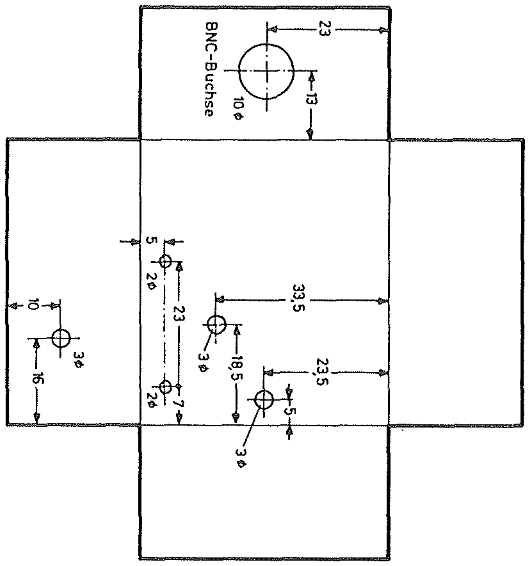
Het printje voor de HF-versterker is getekend in figuur 4/7.6-7, de componentenopstelling in figuur 4/7.6-8.



Figuur 4/7.6-8: De componentenopstelling van de HF-versterker.

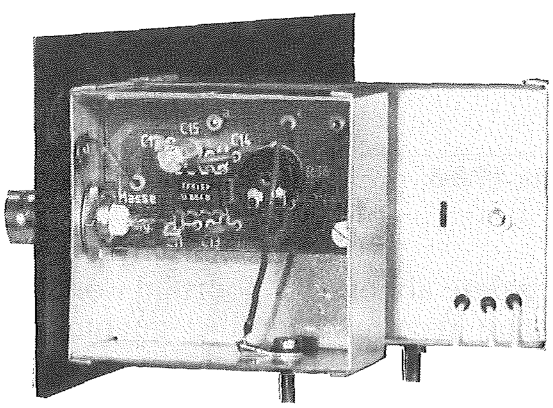
De condensator C11 heeft maar één aansluiting op de print. De linker poot wordt rechtstreeks aan de BNC-connector gesoldeerd.
Ook deze print moet in een afgeschermde behuizing worden ondergebracht.
De afmetingen en het boorplan van deze afscherming zijn getekend in figuur 4/7.6-9.

De montage van de print in de afscherming gaat op dezelfde manier als bij de LF-versterker. Nadat de print met één boutje op de achterzijde is gemonteerd kan men de BNC-connector in de voorzijde monteren en aansluiten op C11. In de bodem wordt een M3 boutje gemonteerd met een soldeerlipje aan de binnenkant en een moertje aan de buitenkant. De massa van de print wordt met het soldeerlipje verbonden. De drie aansluitpennetjes a, b en c worden voorzien van korte draadjes die via de gaatjes in de bodem van de afscherming naar buiten worden gevoerd.



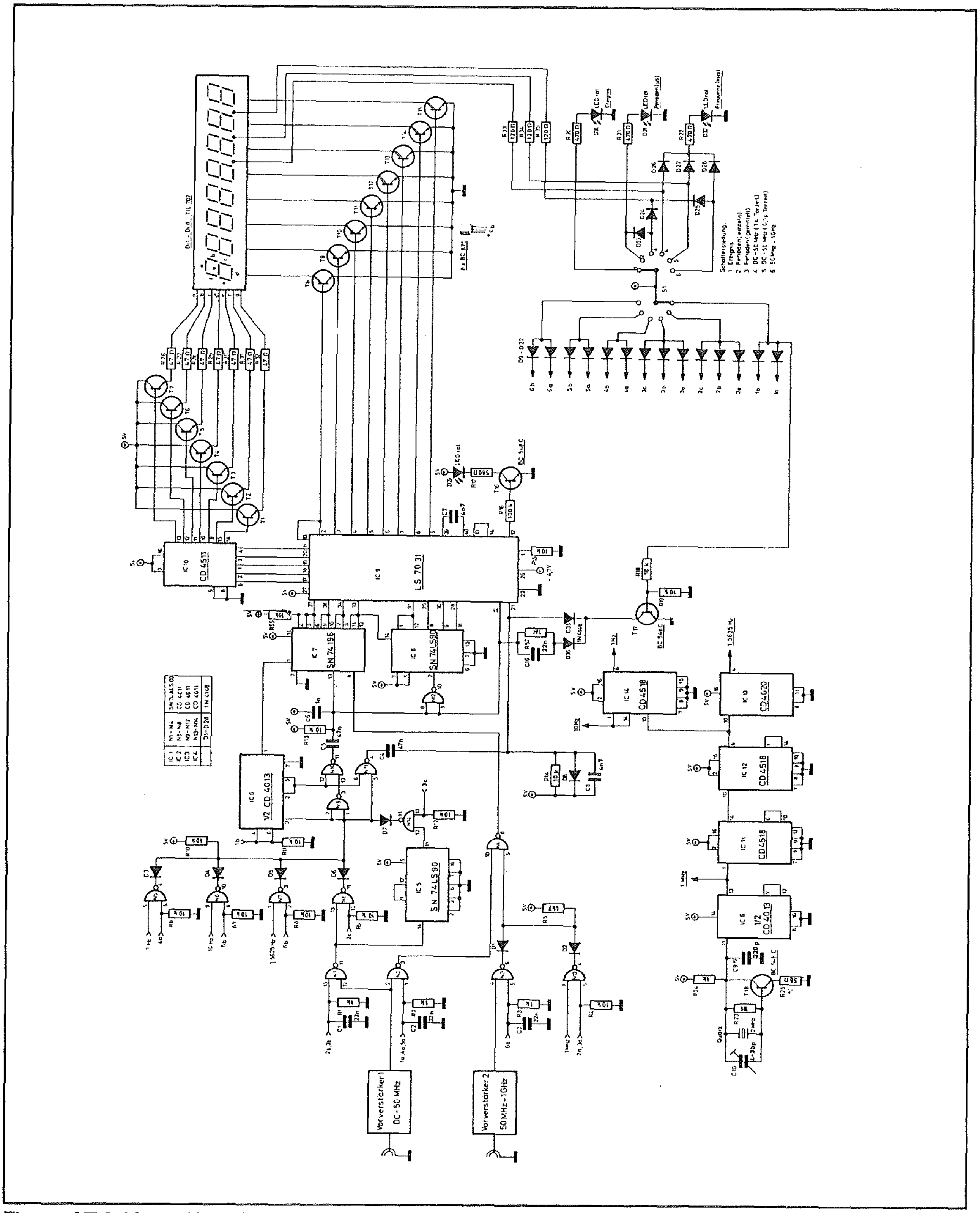
Figuur 4/7.6-9: Afmetingen en boorplan van de afscherming voor de HF-versterker.

Hoe een en ander er na al deze werkzaamheden moet uitzien is geschetst in de foto van figuur 4/7.6-10.



Figuur 4/7.6-10: De HF-versterker in de afscherming.

7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter



Figuur 4/7.6-11: Het schema van het digitale deel van de schakeling.

7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter

Uit deze foto kan men ook afleiden hoe de twee afgeschermde versterkers naast elkaar via hun BNC-connectoren op de frontplaat van de behuizing van de digitale meter worden gemonteerd. Maar dat is voorlopig toekomstmuziek!

De schakeling van het digitale deel
De volledige digitale elektronica van de meter is getekend in figuur 4/7.6-11.

Hart van de schakeling is een LSI-IC van het type LS7031. Deze bevat zes tientellers, acht latches en de noodzakelijke decodeerlogica om de acht zevensegment display's onder gemultiplexte vorm aan te sturen.
Het IC levert acht display-uitgangen en vier gecodeerde signalen die informatie bevatten over het cijfer dat op het geselecteerde display moet verschijnen. Vandaar dat nog een externe decodering noodzakelijk is, waarvoor een CD4511 wordt gebruikt (IC10).
De display's worden aangestuurd met behulp van 15 transistoren, omdat de twee IC's niet in staat zijn de tamelijk grote multiplex-stromen rechtstreeks te leveren. De LS7031 moet zelfs worden afgesloten met darlington's!
Dank zij deze externe transistoren kan men een grote stroom door de segmenten sturen, zodat een heldere en knippervrije uitlezing ontstaat.

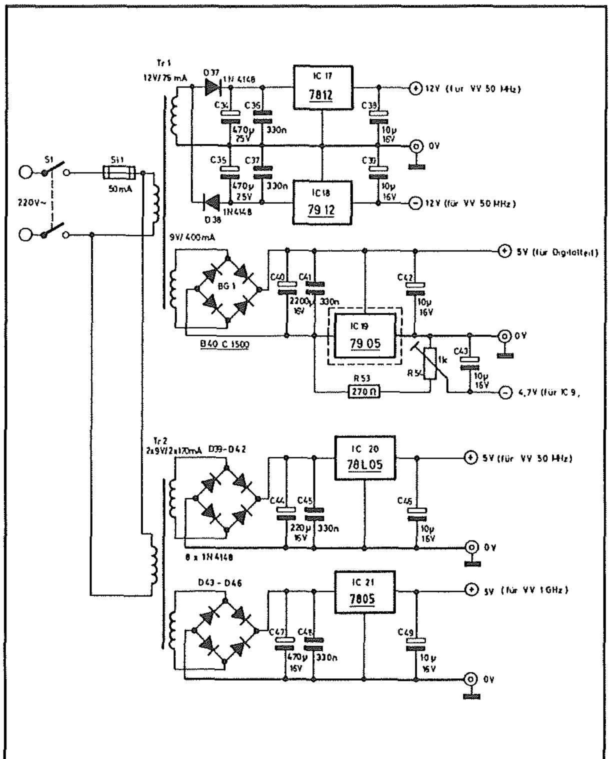
Zoals reeds gezegd bevat de LS7031 slechts zes tientellers. Dat heeft als voordeel dat men de eerste twee tellers kan uitvoeren met snelle TTL-schakelingen, zodat het frequentiebereik tot 50 MHz zeker gesteld is. Als eerste decade van de teller wordt een SN74196 gebruikt (IC7). Dit IC is zonder meer in staat frequenties tot 50 MHz door tien te delen. De uitgang van deze teller stuurt de tweede externe decade IC8. Dat is een gewone 74LS90, die uiteraard geen enkel probleem heeft met de maximale frequentie die nu nog maar 5 MHz bedraagt. De acht BCD-uitgangen sturen de identieke ingangen van de LS7031.

De tijdbasis van de schakeling bestaat uit een kristaloscillator van 2 MHz en vijf frequentiedelers. De oscillator is uitgevoerd rond de transistor T18 en kan met behulp van de condensatortrimmer C10 op precies 2 MHz afgeregeld worden. De vijf frequentiedelers leiden uit het 2 MHz signaal de noodzakelijke besturingspulsen af met frequenties van:
- 1 MHz voor de periodenteller:
- 10 Hz en 1 Hz voor de twee poorttijden voor de LF-metingen;
- 1,5625 Hz voor het meten met de HF-voorversterker (noodzakelijk vanwege de interne 64-deler).

Het omschakelen van de meetbereiken en -functies gaat geheel met logische schakelingen. De schakelaar heeft twee banken, waarvan de rechter alleen wordt gebruikt voor het besturen van de decimale punt in de uitlezing en het besturen van de drie LED's die de meetfunctie aanduiden. Het decoderen van deze functies gaat met behulp van de dioden D23 tot en met D28.
De linker schakelaar stuurt via scheidingsdioden D9 tot en met D22 de +5 V voedingsspanning naar een groot aantal poorten. Het zijn deze poorten die de werking van de schakeling volledig besturen. Alle stuuringangen van deze poorten worden via weerstanden van 10 kΩ met de massa verbonden. Dat is noodzakelijk om deze ingangen logisch op "L" te houden als zij niet vanuit de +5 V worden gestuurd.

7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter

Stel dat de schakelaar in zijn vierde stand wordt gezet, meten van frequenties tot 50 MHz met een poorttijd van 0,1 s.
Pen 1 van poort N2 wordt "H", zodat het uitgangssignaal van de LF-versterker via deze poort doorgeschakeld wordt naar N4. Deze poort is eigenlijk een menger, die ervoor zorgt dat ofwel de signalen van de LF-versterker ofwel de signalen van de HF-versterker verder verwerkt kunnen worden. De uitgang van deze poort is aangesloten op de ingang van de eerste tiendeler IC7.
Pen 6 van de poort N5 wordt door de schakelaar "H" gestuurd. Het gevolg is dat de 1 Hz pulsen van de tijdbasis door deze poort worden doorgelaten en via de scheidingsdiode D3 op de ingang van de tijdbesturing terecht komen.
Deze besturing bestaat uit IC6 en de poorten N9 tot en met N12. Deze schakeling genereert de tel-, reset- en store-pulsen van de schakeling.
De uitgang van IC6 gaat afwisselend gedurende precies 1 s "H" worden en gedurende precies 1 s "L". Deze uitgang stuurt de strobe van de eerste teller, zodat deze voor exact 1 s wordt vrijgegeven en de pulsen van de voorversterker telt.
Als deze ingang naar "L" gaat blijft de teller in zijn laatst getelde stand staan, en het maakt dan niet uit dat het te tellen signaal nog steeds op de ingang staat. De condensator C4 zorgt ervoor dat een smalle store-puls op de store-ingang pen 21 van IC9 wordt aangelegd.
De momentele tellerstand wordt nu in het tussengeheugen ingelezen en verschijnt op de uitlezing. Even later wordt via de condensator C5 een smalle resetpuls opgewekt, die ervoor zorgt dat alle tientellers gereset worden.
Maar omdat de meetwaarde van de vorige meting inmiddels door de C4-puls veilig in het tussengeheugen van IC9 is opgeslagen blijft de uitlezing de meetwaarde aangeven.
Nadien herhaalt de cyclus zich als bij de volgende seconde de uitgang van IC6 weer "H" wordt. De tellers worden vrijgegeven en een nieuwe meetwaarde wordt geteld.



Figuur 4/7.6-12: Het volledige schema van de voeding.

In de overige schakelaarstanden gaat het besturingsproces op vergelijkbare manier. Alleen zullen de poorten N5 tot en met N8 ervoor zorgen dat steeds een ander uitgangssignaal van de tijdbasis het proces stuurt.
Meet men perioden, dan wordt de poort N13 gestuurd, zodat het 1 MHz signaal van de tijdbasis via N14 naar de telleringang van IC7 wordt gestuurd. De meter gaat nu de frequentie van dit signaal tel-

len, waarbij de flip-flop IC6 wordt gebruikt om de tellers gedurende precies één periode van het ingangssignaal vrij te geven. Middelt men de periodemeting over tien perioden, dan wordt de tienteller IC5b tussengeschakeld om de frequentie van het ingangssignaal door tien te delen.

De ontworpen besturing is uiteraard veel ingewikkelder dan een besturing rechtstreeks via de contacten van de schakelaar. Het grote voordeel is echter dat de signalen nu niet via lange leidingen naar de schakelaar gevoerd moeten worden, hetgeen de betrouwbaarheid van de werking bij hoge signaalfrequenties ten zeerste bevordert!

De voeding

Het schema van de voeding is getekend in figuur 4/7.6-12.

De voeding is volledig gescheiden uitgevoerd voor het digitale en analoge deel van de elektronica.
Er wordt zelfs gebruik gemaakt van twee transformatoren! Deze scheiding is absoluut noodzakelijk omdat de voorversterkers zo gevoelig zijn dat een gemeenschappelijke voeding problemen zou geven.
De snelle TTL-IC's veroorzaken kleine stoorpulsjes op hun +5 V voeding.
Zou men deze voeding gebruiken voor de voorversterkers, dan zouden deze pulsjes via de voeding doordringen tot de versterkers, met als gevolg dat de meter de frequentie van deze stoorpulsjes zou aanduiden in plaats van de frequentie van het ingangssignaal.
De bovenste trafo Tr1 levert de +/-12 V voor de 50 MHz versterker via de stabilisatoren IC17 en IC18.
Uit een tweede wikkeling wordt de +5 V afgeleid voor de digitale schakelingen. Deze tweede wikkeling levert ook de -4,7 V voor IC9.
De tweede trafo Tr2 levert via twee gescheiden wikkelingen van 9 V de 2 x +5 V voor de twee voorversterkers.

Onderdelenlijst hoofdprint

Weerstanden, 1/8 W:

R1,R2,R3,R24	=	1	kΩ
R4,R6-R15,			
R18,R19,R55	=	10	kΩ
R5	=	4,7	kΩ
R16	=	100	kΩ
R17	=	560	Ω
R20,R21,R22	=	470	Ω
R23,R52	=	1	MΩ
R25	=	56	Ω
R26-R32	=	47	Ω
R33,R34,R35	=	120	Ω
R53	=	270	Ω

Instelpotentiometer, 5 x 10 mm, liggend:

R54	=	1	kΩ

Condensatoren:

C1,C2,C3,				
C16	=	22	nF	ceramisch
C4,C5	=	47	nF	
C6	=	1	nF	ceramisch
C7,C8	=	4,7	nF	
C9	=	220	pF	
C10	=	4 - 30	pF	trimmer
C40	=	2200	µF	16 V
C41	=	330	nF	
C42,C43	=	10	µF	16 V
C34,C35	=	470	µF	25 V
C36,C37,C45,				
C48	=	330	nF	
C38,C39,C46,				
C49	=	10	µF	16 V
C44	=	220	µF	16 V

C47	=	470 μF 16 V

Halfgeleiders:

D1-D28, D35-D46	=	1N4148
D29,D30, D31,D32	=	LED 5 mm rood
BG1	=	B40C1500 rond
Dy1-Dy8	=	TIL702, TIL815
T1-T7,T16, T17,T18	=	BC548C
T8-T15	=	BC875
IC1	=	SN74ALS00
IC2,IC3,IC4	=	CD4011
IC5,IC8	=	SN74LS90
IC6	=	CD4013
IC7	=	SN74196
IC9	=	LS7031
IC10	=	CD5411
IC11,IC12	=	CD5418
IC13	=	CD4020
IC14	=	CD5418
IC17	=	7812
IC18	=	7912
IC19	=	7906
IC20	=	78L05
IC21	=	8705

Diversen:

1 x trafo 9 V/400 mA, 12 V/75 mA
1 x trafo 2 x 9 V/2 x 150 mA
1 x 2 x 6 standen draaischakelaar
1 x printzekeringhouder
1 x 50 mA zekering
1 x U-vormig koelplaatje

De bouw van de hoofd- en display-printen

De digitale schakeling en de voeding zijn ondergebracht op twee printen, die worden voorgesteld in de figuren 4/7.6-13 en 4/7.6-14.
De componentenopstelling van de basisprint is getekend in figuur 4/7.6-15.
Deze bevat de voeding en alle digitale IC's.
Maar bovendien is het de bedoeling dat men de twee volledig afgeschermde voorversterkers op deze print monteert (gearceerde oppervlakken).
De montage van deze print zal geen problemen opleveren. Let op de draadbruggetjes en op het feit dat IC19 voorzien moet worden van een U-vormig koelplaatje.
Nadat men alle onderdelen op deze print heeft aangebracht legt men deze opzij en komt de display-print aan de beurt.

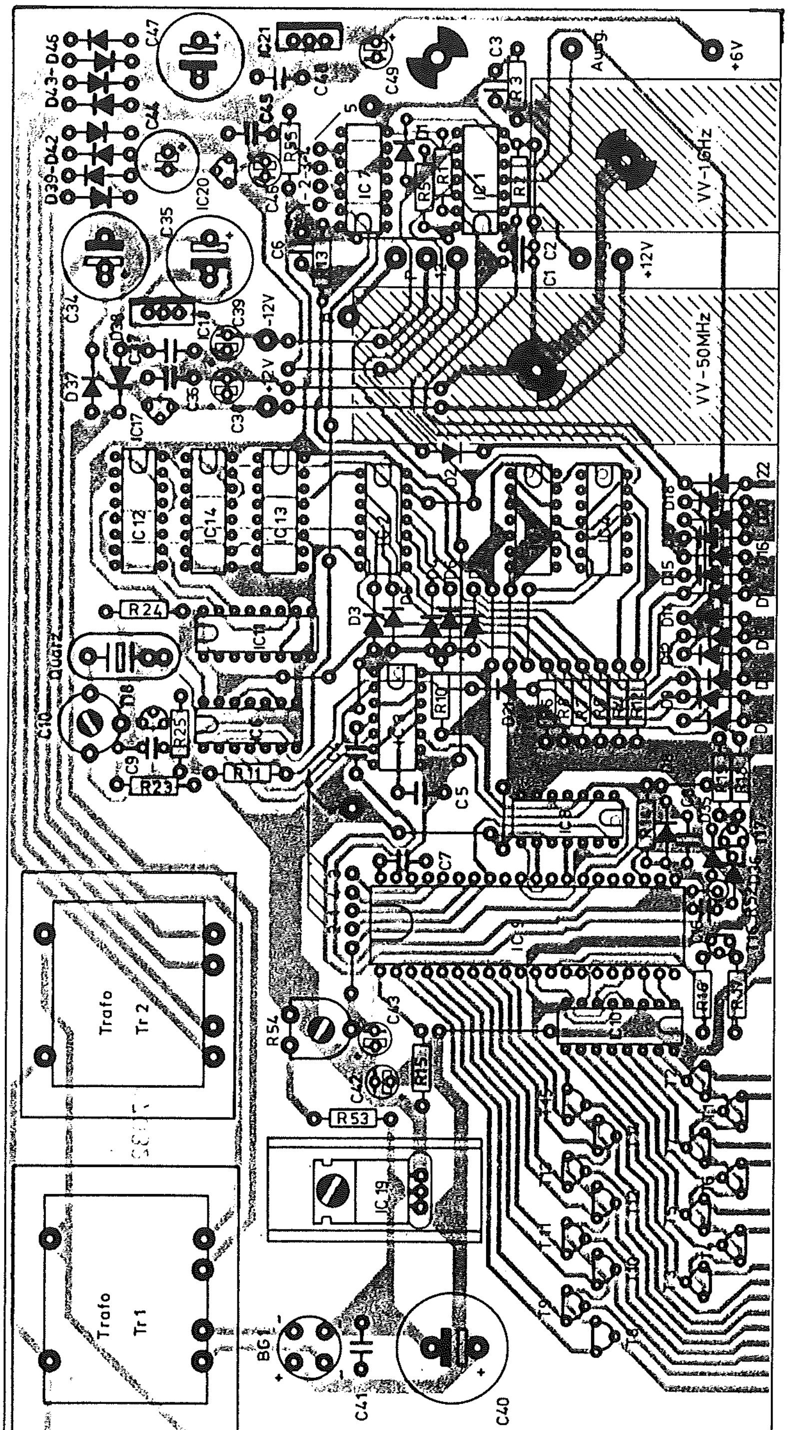
De componentenopstelling van de display-print is getekend in figuur 4/7.6-16. Deze print bevat naast de acht display's en de vijf indicatie-LED's enige weerstanden, de bereik- en functieschakelaar en de potentiometer die in de 50 MHz voorversterker de gevoeligheid instelt.

De eindmontage

In dit stadium van de bouw van de digitale frequentiemeter heeft men vier afzonderlijke modules:
- de basisprint;
- de display-print;
- de 50 MHz versterker in zijn afscherming;
- de 1 GHz versterker in zijn afscherming.

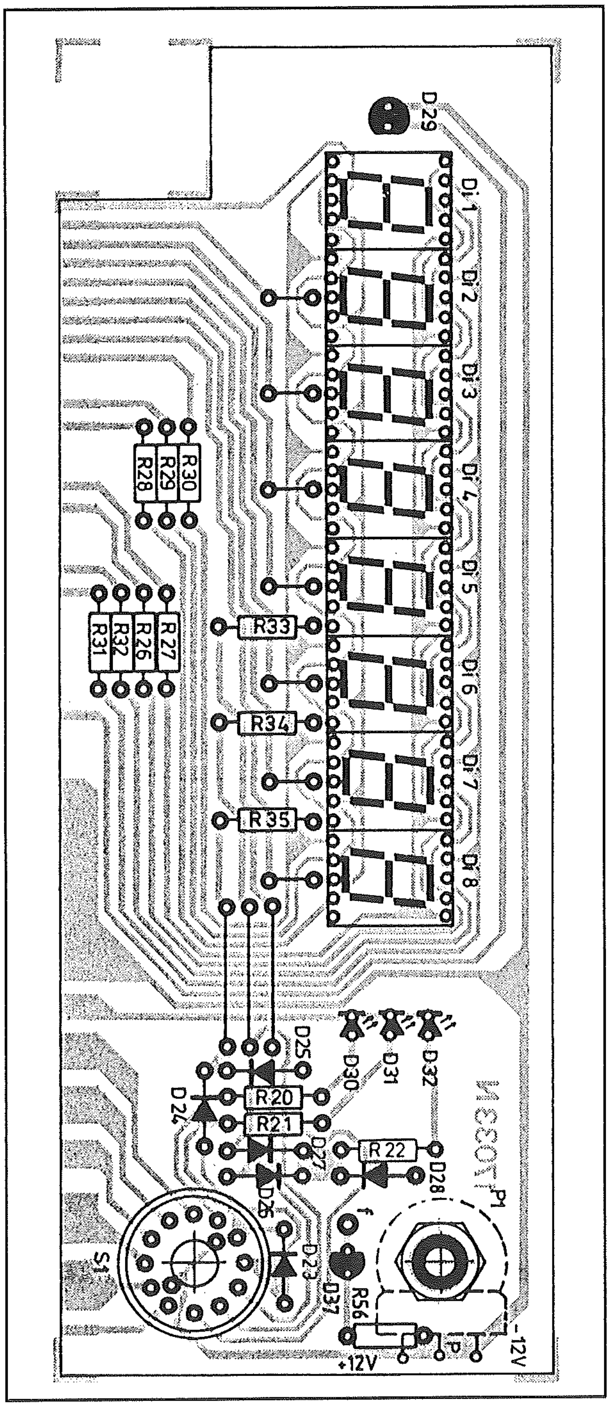
Het is nu de bedoeling dat deze vier units tot één geheel worden samengebouwd.
In eerste instantie worden de afgeschermde behuizingen van de versterkers verder afgewerkt.
Men noteert de kleuren van de draadjes die men aan de aansluitpunten heeft gesoldeerd (bijvoorbeeld rode draad naar punt a, etc) en soldeert de op maat gemaakte dekseltjes op de kastjes.

7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter



Figuur 4/7.6-15: De componentenopstelling van de basisprint.

7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter



Figuur 4/7.6-16: De componentenopstelling van de display-print.

In het dekseltje van de 1 GHz versterker wordt op de juiste plaats een gaatje geboord, zodat men via dit gaatje de loper van de instelpotentiometer R36 kan bereiken.

In tweede instantie moet men de display-print met de basisprint verbinden. De twee printen worden onder een hoek van 90° tegen elkaar geklemd, waarbij de onderzijde van de display-print 3 mm uitsteekt. Men kan nu alle koperspoortjes die samenvallen vast solderen. Vervolgens worden de twee voorversterkers op de basisprint bevestigd. Men schroeft op de uitstekende M3 boutjes eerst twee moertjes. Nadien steekt men de afschermingen door de gaatjes van de print en schroeft de afgeschermde kastjes vast op de basisprint. Vervolgens moet men de vier modules nog bedraden. Dat gaat heel eenvoudig door de gelijknamige aansluitingen op de modules met elkaar door te verbinden. Hoe de volledig gemonteerde schakeling er uit ziet valt af te leiden uit de foto van figuur 4/7.6-17.

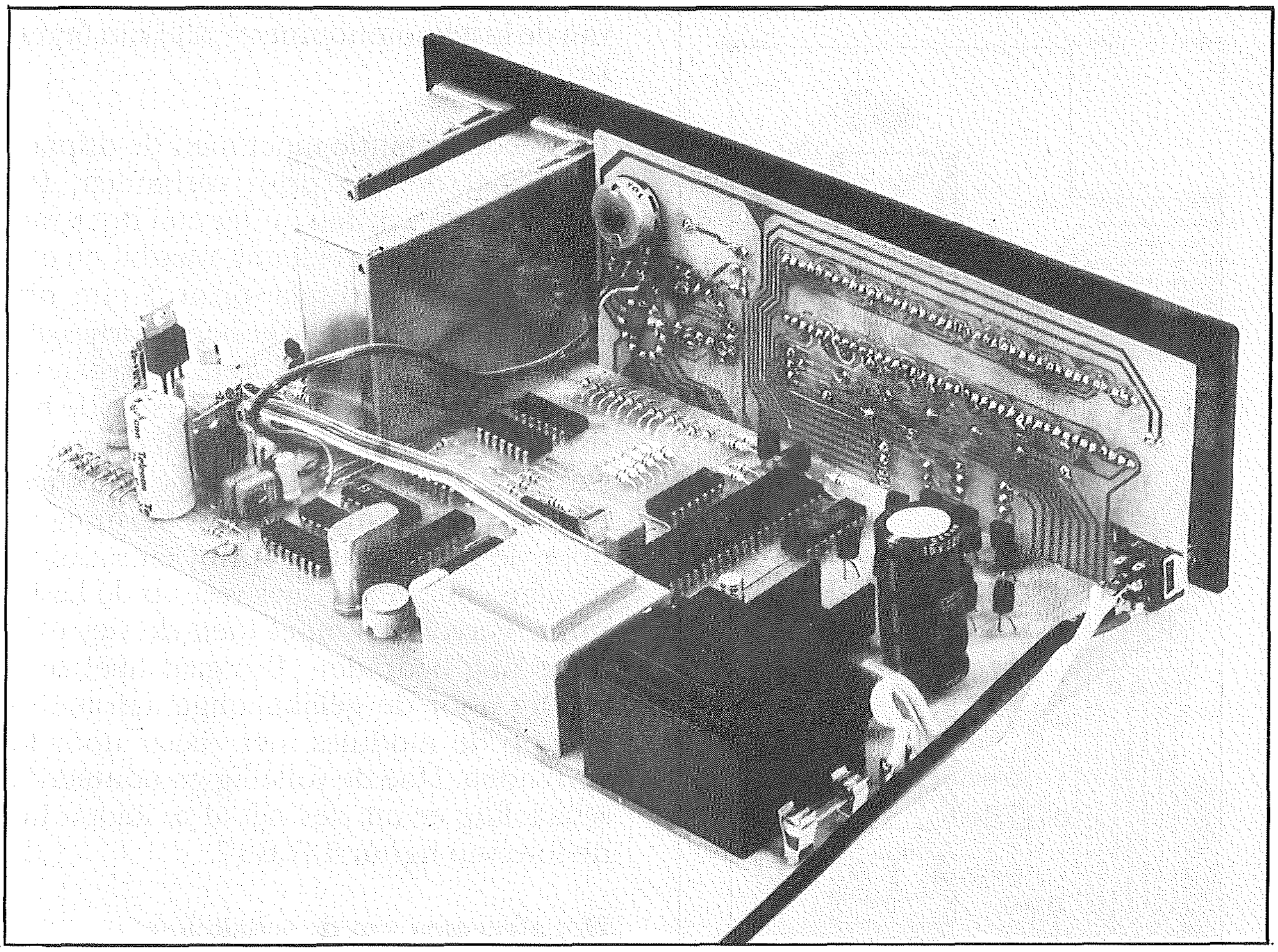
Het afregelen van de schakeling

De volledige digitale frequentiemeter bevat slechts drie afregel-elementen, die nu beschreven worden.

- Instelpotentiometer R54

  De schakelaar wordt in stand 1 gezet en op pen 2 van N2 wordt een TTL-compatible signaal van 1 kHz gezet. Met een universeelmeter meet men de gelijkspanning tussen de pennen 23 en 26 van IC9. De instelpotentiometer wordt verdraait tot men een spanning van ongeveer -3 V meet. Dit is een richtwaarde en afhankelijk van de toleranties op de specificaties van het gebruikte IC zal men deze spanning 1 V moeten verhogen of verlagen. De spanning staat goed ingesteld als de meter de aangeboden pulsen regelmatig telt.

7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter



Figuur 4/7.6-17: De volledig gemonteerde meter vóór inbouw in een behuizing.

- Trimcondensator C10
  De schakelaar wordt in stand 4 geplaatst en aan de ingang wordt een signaal gelegd met een bekende frequentie. De condensatortrimmer wordt nu verdraaid tot de meter de bekende waarde van de frequentie aanwijst. Als men hierbij merkt dat de kristaloscillator niet goed werkt, kan men dit probleem verhelpen door de waarden van de onderdelen R25 en C9 iets te wijzigen.
- Instelpotentiometer R36
  De draaischakelaar wordt in stand 6 gezet en aan de ingang van de 1 GHz versterker wordt een signaal gelegd met een frequentie van rond de 100 MHz. Men steekt nu een schroevendraaier door het gaatje in de afscherming van de 1 GHz versterker en verdraait de loper van R36 tot de meter de frequentie aanwijst. Men zal merken dat dit geldt voor een breed bereik van de loperstand. Men doet er het beste aan de loper in de middenstand van het werkzame gebied te zetten.

De digitale meter in de praktijk

In de praktijk zal men merken dat de meter een nauwkeurig en onkritisch apparaat is, die zeer eenvoudig te bedienen is. Het enige kritische punt is dat men, bij zeer kleine signaalspanningen aan de ingang, de potentiometer R65 tamelijk

7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter

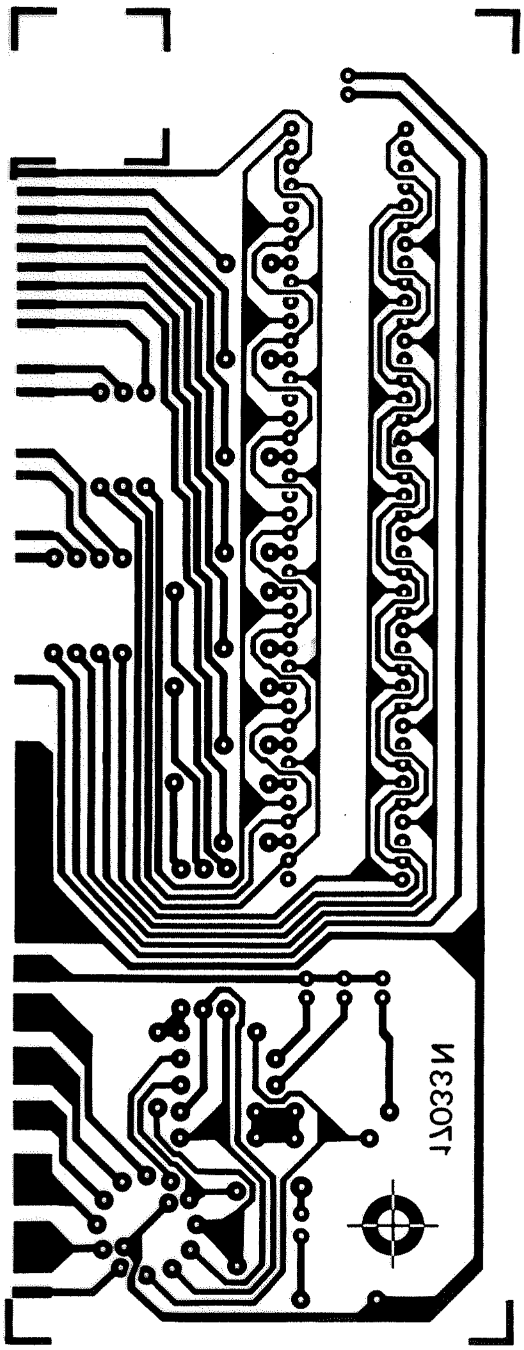
nauwkeurig moet instellen. Stelt men de potentiometer namelijk niet goed in, dan zal men merken dat de meter ofwel helemaal niets aanwijst (uitlezing 00000000) ofwel onzin geeft (steeds verspringende cijfers). Dat laatste duidt erop dat de voorversterker oscilleert. Men moet dan de potentiometer voorzichtig verdraaien tot de meter een stabiele waarde aanwijst. Bij zeer kleine signaalspanningen is het goede bereik van de potentiometer zeer klein en de instelling zeer kritisch.
Als men echter met normale signaalgroottes werkt zal men merken dat de instelling van deze potentiometer geheel onkritisch is en de meter het in iedere stand doet.
Voor het meten van aantallen pulsen moet men de schakelaar eerst in een willekeurige stand zetten en nadien, bij het begin van de meting, omschakelen naar stand 1.
De display's gaan dan naar uitlezing 00000000 en zullen alle binnenkomende pulsen tellen.

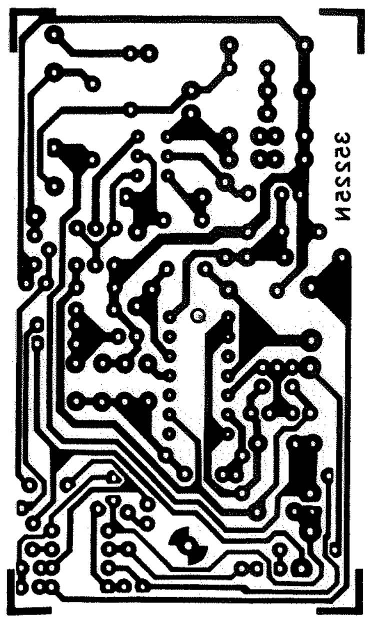
Bouwpakket
Als extra service aan de nabouwers van deze schakeling kan nog vermeld worden dat deze digitale frequentiemeter in diverse onderdelenzaken te koop is als compleet bouwpakket.

De samenstelling van dit bouwpakket wordt verzorgd door de firma Binell B.V., Postbus 83, 7440 AB Nijverdal, telefoon 05486 - 17475. Op dat adres kan men alle nodige informatie krijgen over prijzen en verkoopadressen.

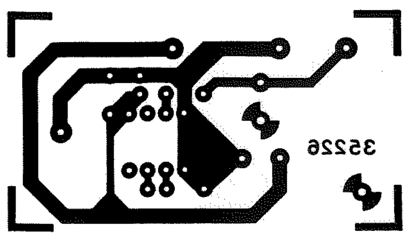
7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter

7.6 1 GHz digitale frequentie- en periodemeter





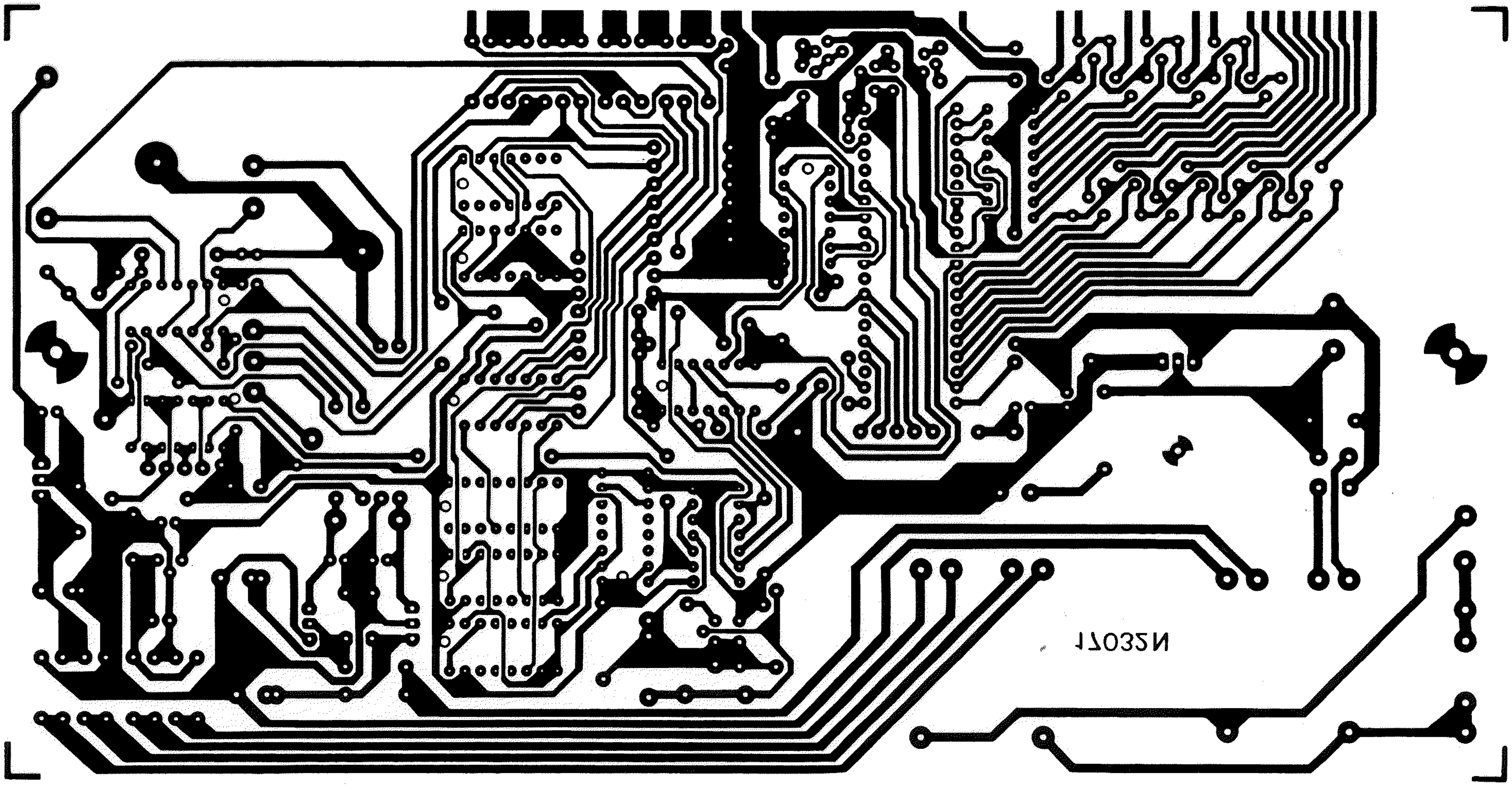
Figuur 4/7.6-2: De print van de 50 MHz versterker.



Figuur 4/7.6-14: De print van de uitlezing en het bedieningsdeel.

Figuur 4/7.6-7: De print van de 1 GHz voorversterker.

7.6 1 MHz digitale frequentie- en periodemeter



Figuur 4/7.6-13: De print met de voeding en het digitale deel van de schakeling.

4/7.7 Een ijk-generator voor gelijkspanning en hoogfrequent wisselspanning

Een goede ijk-generator is zeer zeker voor de hobby-ist een onmisbaar hulpmiddel. Hoe anders kan hij zijn zelfgebouwde meet-apparatuur afregelen en ijken? De moderne IC-technologie maakt het voor iedereen mogelijk bijvoorbeeld een zeer goede digitale multimeter te bouwen. Maar om dat apparaat af te regelen en te ijken heeft men . . . inderdaad, een digitale multimeter nodig!

Met deze ijk-generator wordt dit echter allemaal opeens anders. Dit precisie-apparaat heeft een automatische zelfcorrigerende schakeling, waardoor er voor het afregelen niet meer dan een eenvoudige universeelmeter noodzakelijk is. Het apparaat heeft drie uitgangen, waarvan men zeer nauwkeurige signalen kan aftakken:

- 5,00 V gelijkspanning;
- −10,0 dBm HF-vermogen;
- −73 dBm (50 μV) signaal met een frequentie van 3,5 MHz.

De ijk-generator is geschikt voor het afregelen, ijken en controleren van digitale universeel-meters, oscilloscopen, vermogen-meters en ontvangers.

De signalen op de drie uitgangen kenmerken zich door een zowel op korte als op lange termijn uitstekende stabiliteit. Er wordt van goedkope en redelijk algemeen verkrijgbare onderdelen gebruik gemaakt.

Werkings-principe

Het blokschema is getekend in figuur 4/7.7 -1. Hart van de schakeling is een zeer stabiele gelijkspannings-referentie, die een spanning van +5 V opwekt. Deze gelijkspanning wordt vergeleken met het uitgangs-signaal van een kristal-oscillator. Dit signaal wordt met behulp van een diode gelijkgericht en om de temperatuurs-invloeden die deze diode heeft te elimineren wordt de uitgangs-spanning van de gelijkspannings-referentie via een soortgelijke diode aangeboden aan de vergelijkingsschakeling. Temperatuurs-invloeden werken op beide dioden in gelijke mate in, het resultaat is nul!

De verschil-spanning wordt aangeboden aan de ingang van een verschilversterker. Deze wekt een regel-signaal op, dat de schakeling van de kristal-oscillator stuurt en de versterking van deze schakeling zo wijzigt, dat het verschil-signaal nul wordt.

Iedere variatie op de uitgangs-spanning van de generator wordt dus, na het vergelijken met de stabiele +5 V referentie, onmiddellijk door de terugkoppel-lus gecorrigeerd.

De HF-gelijkrichter, die de wisselspanning omzet in een gelijkspanning, is geschakeld als top-detector met een zeer grote tijdconstante.

4.7.7 Een ijk-generator voor gelijkspanning en hoogfrequent wisselspanning

De op 5 V effectief gestabiliseerde uitgangsspanning van de generator wordt aangeboden aan een spanningsdeler, opgebouwd uit 1% weerstanden.

De nauwkeurigheid van de schakeling

De nauwkeurigheid van de uitgangs-signalen van de ijk-generator hangt af van een aantal factoren: de nauwkeurigheid van de +5 V referentie, de tolerantie van de weerstanden in de uitgangs-verzwakker, de manier waarop de schakeling wordt nagebouwd en de vervorming op de HF-spanning.

Als men als eis stelt dat de afwijking op het HF-signaal maximaal 0,1 dB mag bedragen, dan mag de tolerantie van de +5 V referentie niet groter zijn dan 50 mV! De standaard spanningsstabilisatoren voldoen absoluut niet aan deze eis. Vandaar dat een speciaal referentie-IC wordt toegepast, namelijk type REF-02 van PMI. Dit soort referenties wordt in de professionele electronica gebruikt als referentie voor zeer nauwkeurige digitaal naar analoog omvormers.
Dit IC is echter in een aantal uitvoeringen leverbaar, die zich in nauwkeurigheid en uiteraard ook in prijs van elkaar onderscheiden. In het proto-type werd een IC met een nauwkeurigheid van 1% toegepast. De maximale afwijking op de uitgangs-spanning is dan 50 mV, zodat wordt voldaan aan de eis om de wisselspanning binnen 0,1 dB gelijk te houden aan de gewenste waarde.
Alle REF-IC's hebben echter een afzonderlijke ingang, waardoor het mogelijk is de uitgangs-spanning met een nauwkeurigheid van 1 mV af te regelen. Het volstaat deze extra ingang aan te sluiten op de loper van een instelpotentiometertje. Zou men dus ooit de beschikking krijgen over een zeer goede digitale universeelmeter (die een uitlezing van vier en een halve decade moet hebben), dan kan men de specificaties van de ijk-generator tot een waarlijk professioneel niveau opvijzelen!
De temperatuurs-drift van de REF-IC's bedraagt slechts 15 μV per graad Celsius!

In het algemeen kan men stellen dat een afwijking van 1% op een van de weerstands-waarden van de spanningsdeler een variatie van 0,1 dB op de uitgangsspanning geeft. Nu worden er echter verschillende weerstands-delers achter elkaar geschakeld en men kan de wetten van de statistiek op de schakeling toepassen. Deze wetten stellen dat de toleranties op de weerstanden elkaar in de meeste gevallen tegenwerken, waardoor men rustig kan stellen dat de afwijking op de uitgangs-spanning niet groter zal zijn dan 0,1 dB als men 1% weerstanden toepast.

De laatst genoemde factor, de HF-spanning, is het moeilijkst in de hand te houden. De kristal-oscillator levert een uitgangsspanning van enige volts. Dit signaal wordt door de verzwakkers gereduceerd tot 71 mV respectievelijk 50 μV! Het zal duidelijk zijn dat de geringste capacitieve of inductieve koppeling tussen de uitgang van de oscillator en de uitgangen van de verzwakker de zuiver resistieve spannings-deler verstoort. Bij de −10 dBm-verzwakker is dit probleem nog relatief eenvoudig op te lossen. Metingen hebben aangetoond dat de fout die door capacitieve en inductieve verschijnselen optreedt ongeveer 0,15 dB bedraagt

4.7.7 Een ijk-generator voor gelijkspanning en hoogfrequent wisselspanning

en deze fout is gecompenseerd door het aanpassen van de weerstanden van de verzwakker.
Het ontkoppelen van de 50 μV uitgang is veel moeilijker! De afwijking bedraagt hier ongeveer 1 dB, een waarde die echter voor het afregelen van ontvangers en HF-meters acceptabel is.
Om de problemen veroorzaakt door capacitieve en inductieve strooiing te reduceren is met opzet gekozen voor een zeer lage kristal-frequentie: 3,5 MHz.
Dit komt ook de probleemloze nabouw ten goede.

Het volledige schema

Het volledige schema van de ijk-generator is getekend in figuur 4/7.4 -2.
De kristal-oscillator is opgebouwd rond een zeer goedkoop kristal. De 3579 kHz kristallen worden vaak toegepast in computers en deze zijn dan ook voor enige guldens te koop. Het HF-signaal wordt op een plaats afgetakt (tussen het kristal en de serie-condensator) die zeer arm is aan harmonischen. De daaropvolgende versterker introduceert echter extra harmonischen en vandaar dat het noodzakelijk is het versterkte HF-signaal via een laagdoorlaat-filter aan de verzwakkers aan te bieden. De verzwakking voor harmonischen van dit filter bedraagt ongeveer 60 dB. Er worden drie vaste, niet af te regelen HF-spoeltjes gebruikt. Dit komt de probleemloze nabouw ten goede. Bovendien hebben de toegepaste kringen zo'n lage kwaliteits-factor dat het toch geen zin zou hebben deze af te regelen. Zou men de opgegeven waarden voor de spoeltjes niet kunnen vinden, dan kan men de waarde van de parallel-condensator Cp experimenteel wijzigen tot de versterker maximaal signaal aflevert.

Zoals reeds gezegd is de tijdconstante van de gelijkrichter vrij groot. De parallelschakeling van de condensator van 1 nF en de weerstand van 4,7 M-Ohm stelt de tijdsconstante in op 4,7 ms, hetgeen zeer groot is vergeleken met de periode-duur van 280 ns van het oscillator-signaal.
De hoge parallel-weerstand is zonder meer noodzakelijk om de uit het laagdoorlaat-filter komende HF-spanning zo min mogelijk te belasten en de vervorming zo gering mogelijk te houden.

Zoals reeds gemeld, kan men de +5 V referentie afregelen. Het volstaat de twee test-punten 2 en 3 kort te sluiten, een zeer nauwkeurige digitale volt-meter op de +5 V uitgang aan te sluiten en de instelpotentiometer P2 af te regelen tot de uitgangsspanning precies gelijk is aan 5,000 V.
Men moet er echter wel rekening mee houden dat niet alle digitale meters een nauwkeurigheid bezitten die groot genoeg is om een spanning zinvol op 1 mV precies af te regelen! Er zijn een heleboel meters in de handel die weliswaar wel een uitlezing tot 1 mV hebben, maar waarvan de nauwkeurigheid zo gering is, dat de vierde decade er eigenlijk alleen maar als versiering bij hangt!

De verschil-versterker is uitgerust met een FET operationele versterker LF 356. De uitgangs-spanning van deze trap is de voedings-spanning van de kristal-oscillator. Dit is een zeer eenvoudig, maar zeer effectief systeem voor het regelen van de versterking van een HF-versterker! De offset-spanning van de operationele versterker kan door middel van een instelpotentiometer P1 worden gecompenseerd. De verschilversterker werkt integrerend (terugkoppel-conden-

sator C11 van uitgang naar inverterende ingang), zodat het mogelijk is de offset zonder problemen af te regelen. De integratie-capaciteit zorgt er immers voor dat de uitgangsspanning slechts langzaam reageert op ingangs-veranderingen en men kan het effect van het verdraaien van de trimmer zeer goed waarnemen.

De geregelde uitgangsspanning van de HF-versterker (precies 5 V_{eff}) wordt via de weerstanden R11, R12 en R13 aangeboden aan een 50 Ohm verzwakker. Aan de uitgang van deze schakeling staat het −10,0 dBm-signaal ter beschikking. Nadien volgt een tweede geijkte verzwakker, samengesteld uit drie PI-netwerken, die het uitgangs-signaal van de 50 Ohm-deler verder verzwakken tot −73 dBm. Gebruikt men deze uitgang, dan moet men echter de 50 Ohm-uitgang afsluiten met een 50 Ohm belasting. Doet men dat niet, dan kan men rekenen op een fout van ongeveer 2 dB op het kleinste signaal!

Het afregelen van de schakeling

Voor men met het afregelen van de schakeling begint, moet men eerst vaststellen of de automatische versterkings-regeling het wel doet. Meet de spanning op de collector van T1. Hoe lager deze spanning, hoe groter het uitgangs-signaal van de kristal-oscillator! De spanning moet ergens in het gebied tussen 7 en 10 V liggen. Raak nu met een vinger een van de onderdelen van de oscillator aan. Als de schakeling reageert door het laten stijgen van de collector-spanning kan men er zeker van zijn dat het automatische regel-systeem werkt en kan men de schakeling gaan afregelen.
Als de spanning op de collector van T1 groter is dan 10 V heeft ofwel het kristal een zeer slechte kwaliteits-factor of is de belastings-kring van de nageschakelde versterker (C6, L1) niet op de kristalfrequentie afgestemd. In het laatste geval kan men door de waarde van de parallelcondensator CP experimenteel aan te passen de kring op resonantie instellen.

Het afregelen van de offset van de operationele versterker gaat op de volgende manier. Het HF-signaal wordt kortgesloten, bijvoorbeeld door C10 met een draadje te overbruggen. Vervolgens worden de twee ingangen van de operationele versterker (2 en 3) rechtstreeks met elkaar verbonden. Meet nu de uitgangsspanning van de op-amp (bijvoorbeeld op de collector van T1) en verdraai P1 tot deze spanning ongeveer gelijk is aan 5 V. Zou er, ondanks de integrerende werking, toch nog een plotseling omklappunt optreden dan moet men de uitgangsspanning in het midden van de twee grens-waarden proberen in te stellen.

De bouw van de schakeling

De manier waarop de schakeling wordt nagebouwd heeft grote invloed op de specificaties van de schakeling! Het is van het grootste belang de volgende richtlijnen zo nauwkeurig mogelijk op te volgen.
Zoals uit de figuren 4/7.7 -3 en 4/7.7 -4 blijkt, wordt de print onderverdeeld in een aantal compartimenten, die door middel van metalen plaatjes onderling afgeschermd worden. De in figuur 4 getekende plaatjes kunnen uit vertind blik, koper of verkoperd epoxy-plaat worden gezaagd en nadien op de in de afbeelding aangegeven plaatsen met de massa-leiding van de print worden verbonden.

4.7.7 Een ijk-generator voor gelijkspanning en hoogfrequent wisselspanning

Nadat de print is afgeregeld moet het geheel in een metalen kastje worden ondergebracht (men kan dit kastje ook samenstellen uit aan elkaar gesoldeerde stroken print-plaat). De voeding van de schakeling moet via een doorvoer-condensator aan de schakeling worden aangeboden, dit geldt trouwens ook voor de +5 V uitgangs-spanning. De twee HF-uitgangen kan men het best onmiddellijk door middel van BNC-chassisdelen, rechtstreeks gemonteerd in het afschermkastje, naar buiten voeren.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 5%, 1/4 W

R 1 = 2,2 k-Ohm
R 2 = 220 k-Ohm
R 3 = 100 k-Ohm
R 4 = 750 Ohm
R 5 = 4,7 k-Ohm
R 6 = 27 Ohm
R 7 = 100 Ohm
R 8 = 10 Ohm
R 9 = 4,7 M-Ohm
R10 = 4,7 M-Ohm

Weerstanden, 1%

R 11 = 511 Ohm
R 12 = 118 Ohm
R 13 = 53,6 Ohm
R 14 = 20,0 Ohm
R 15 = 100 Ohm
R 16 = 20,0 Ohm
R 17 = 100 Ohm
R 18 = 20,0 Ohm
R 19 = 100 Ohm
R 20 = 71,5 Ohm
R 21 = 422 Ohm
R 22 = 124 Ohm
R 23 = 124 Ohm
R 24 = 52,3 Ohm
R 25 = 73,2 Ohm
R 26 = 124 Ohm
R 27 = 124 Ohm
R 28 = 40,2 Ohm
R 29 = 11,3 Ohm
R 30 = 150 Ohm
R 31 = 200 Ohm
R 32 = 57,6 Ohm

Condensatoren

C 1 = 47 nF
C 2 = 68 pF
C 3 = 120 pF
C 4 = 33 pF
C 5 = 12 pF
C 6 = 560 pF
C 7 = 47 nF
C 8 = 47 nF
C 9 = 47 nF
C 10 = 100 pF
C 11 = 33 nF
C 12 = 1 nF
C 13 = 1 nF
C 14 = 47 nF

4.7.7 Een ijk-generator voor gelijkspanning en hoogfrequent wisselspanning

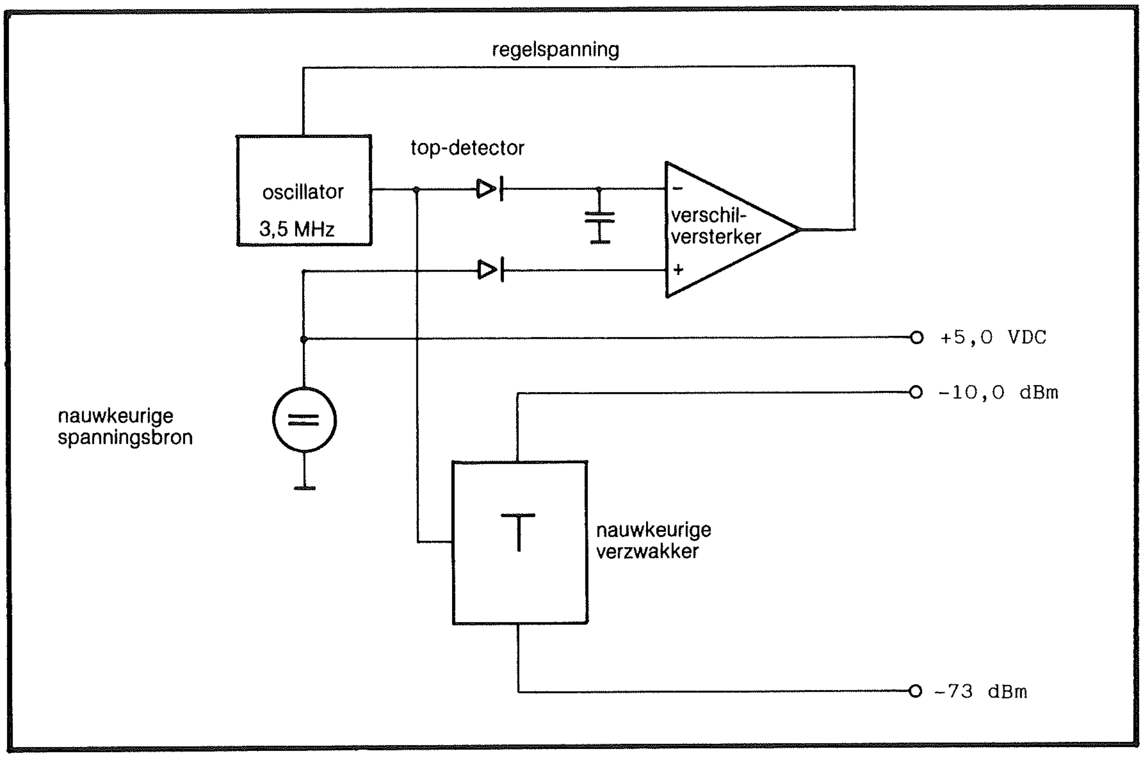
Halfgeleiders

D1	= BAS 40-03
D2	= BAS 40-03
T1	= BCY 58
T2	= 2 N 3866
IC 1	= LF 356
IC 2	= REF 02 CP (Bourns)

Diversen

1 x trimmer 10 k-Ohm, liggend, groot
1 x trimmer 22 k-Ohm, liggend, groot
2 x doorvoercondensator, 5 nF
3 x HF-spoeltjes, Siemens B 78108
1 x kristal, 3579 kHz
1 x condensator-trimmer, 45 – 150 pF
2 x acht-polige IC-voetjes

4.7.7 Een ijk-generator voor gelijkspanning en hoogfrequent wisselspanning

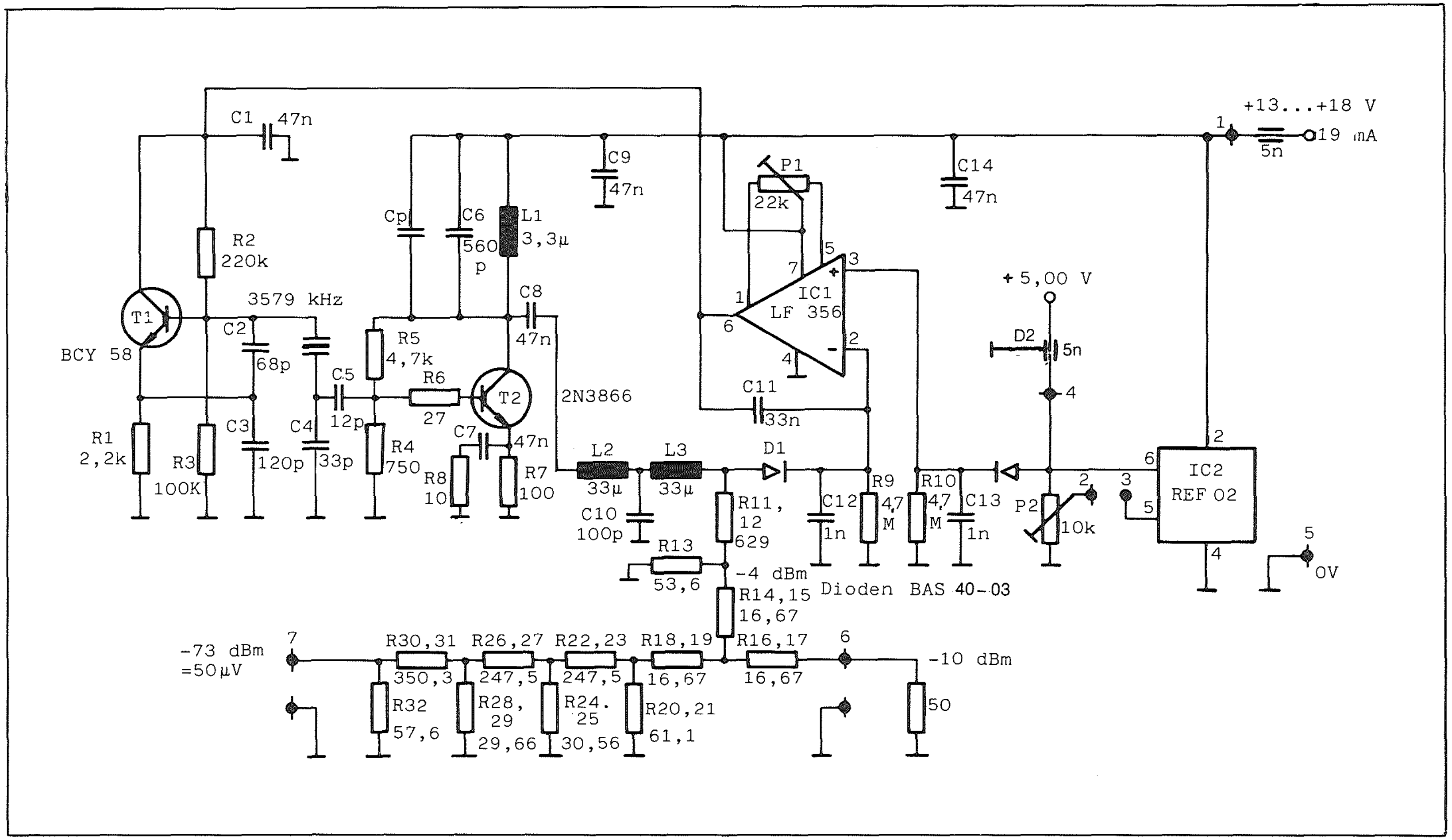


Figuur 4/7.7 -1:
Blok-schema van de schakeling

Specificaties

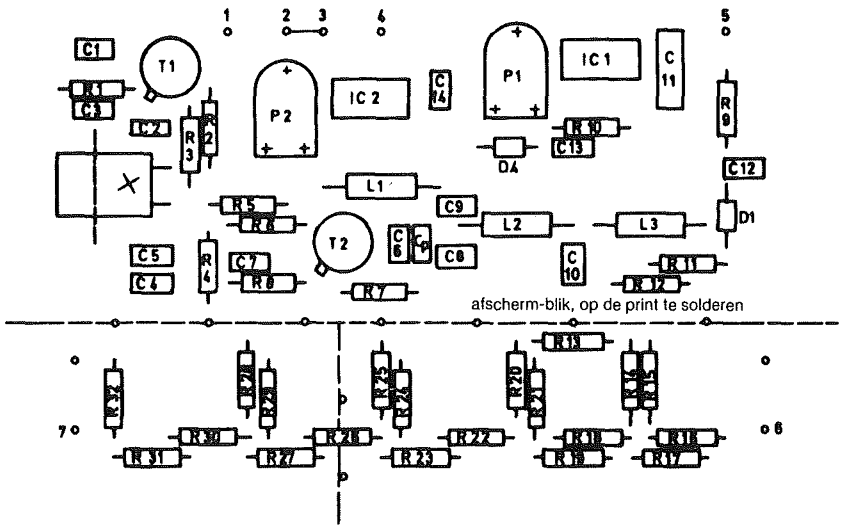
Gelijkspannings-uitgang	: 5 V, ±50 mV, af te regelen tot 5 V, ± 1 mV
Maximale uitgangs-stroom	: 20 mA
HF-uitgangen (2 x BNC)	: −10 dBm, ±0,1 dB, 50 Ohm −73 dBm, ±1 dB, 50 μV, 50 Ohm
Frequentie	: 3850 kHz
Onderdrukking harmonischen	: meer dan 55 dB
Voeding	: 12 tot 24 V, 16 à 20 mA

4.7.7 Een ijk-generator voor gelijkspanning en hoogfrequent wisselspanning



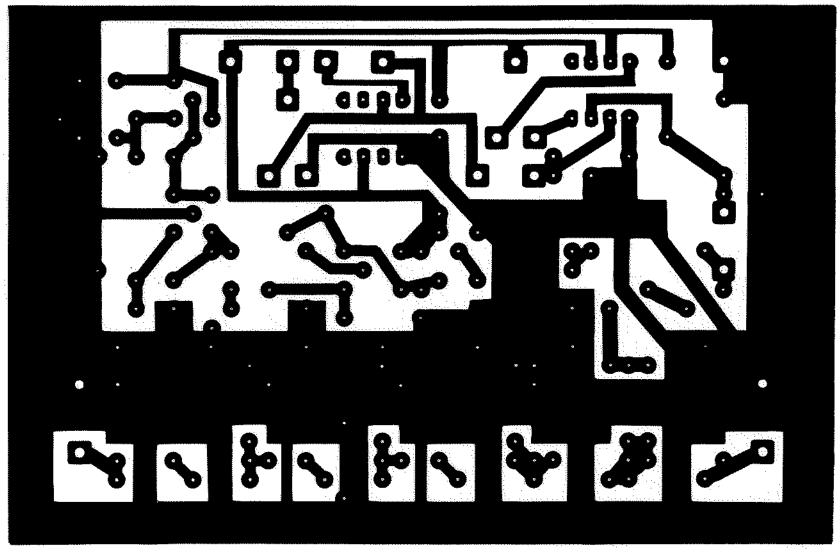
Figuur 4/7.7 -2:
Volledig schema van de ijk-generator

4.7.7 Een ijk-generator voor gelijkspanning en hoogfrequent wisselspanning



Figuur 4/7.7 -4: Bestukkings-tekening

7.7 Een ijk-generator voor gelijkspanning en hoogfrequent wisselspanning



Figuur 4/7.7 -3: Print lay-out

4/7.8 Testgenerator voor het afregelen van de voormagnetisatie bij bandrecorders

Om bij bandrecorders een zo natuurgetrouw mogelijke weergave te verkrijgen gebruikt men speciaal voor muziekweergave gemaakte banden. Behalve de kwaliteit van de band speelt echter ook een goed afgestelde voormagnetisatie een rol. Deze testgenerator produceert twee frequenties van resp. 400 Hz en 8 kHz met een gelijke amplitude. Door nu verschillende opnames te maken, bij verschillende voormagnetisaties, zoekt men die instelling, waarbij beide frequenties nagenoeg dezelfde uitgangs amplitude geven.

Werking

De door IC2 (XR2206) opgewekte driehoeksspanning is als meetsignaal onbruikbaar, deze spanning wordt echter intern omgezet in een sinus signaal. De frequentie van dit sinussignaal is afhankelijk van hetzij de weerstand aan pen 7, hetzij de weerstand aan pen 8, in beide gevallen in combinatie met de condensator C4. Welke weerstand op een gegeven ogenblik bepalend is, is afhankelijk van de spanning aan pen 9. Wordt deze spanning groter dan 3V, dan is de weerstand aan pen 7 bepalend; bij een spanning lager dan 1V is de weerstand aan pen 8 bepalend. (Als pen 9 open is, is eveneens de weerstand aan pen 8 bepalend).

Deze automatische omschakeling wordt gestuurd door IC1 (CA 3140). IC1 is een als astabiele multivibrator geschakelde operationele versterker. Met schakelaar SW1 kan de multivibrator echter gedwongen worden een hoog of laag niveau aan zijn uitgang te geven. In de midden stand worden de twee weerstanden met een frequentie van ca. 1Hz omgeschakeld. De schakeling produceert dan afwisselend frequenties van 400Hz resp. 8kHz. Afregeling van deze frequenties is mogelijk met RV2 en RV4.

Het uitgangssignaal wordt afgenomen van het knooppunt van R5 en R6 (OUT). Door verandering van de deling van deze twee weerstanden, kan men elk gewenst uitgangsniveau instellen. Om de schakeling zo eenvoudig mogelijk te houden worden 2 negen volts batterijen als voeding gebruikt. Doordat de XR2206 slechts werkt met een voedingsspanning van minimaal 10V is het gebruik van een enkele batterij toch al uitgesloten. Daar de schakeling echter maar een zeer gering verbruik heeft is dit niet zo'n groot bezwaar. De uitgangsfrequenties blijven ook bij dalende batterijspanning relatief stabiel. C2 en C3 zorgen voor de noodzakelijke ontkoppeling.

7.8 Testgenerator voormagnetisatie bandrecorders

Bouwtips

Het bouwen op zich is relatief eenvoudig. Wanneer U even goed let op de polariteit van de tantaalelco's en de IC's, kunt u weinig brokken maken. Voor de afregeling is eigenlijk een oscilloscoop nodig. Eventueel is het mogelijk het apparaat op een versterker aan te sluiten en min of meer op het gehoor de zaak af te regelen. Erg nauwkeurig is dit echter niet. Zet RV5 in de middenstand en RV3 op zijn maximale waarde. Sluit nu de voeding aan en regel met instelpot RV1 de spanning op pen 2 van IC2 af op 4V. Door RV3 te verdraaien probeert u nu een signaal in te stellen, dat een sinus zoveel mogelijk benadert. Door minimale veranderingen aan de instelling van RV5 kan men proberen de sinus nog wat mooier te maken. Op pen 2 van IC2 moet nu een mooie sinus met een amplitude van 2V piek-piek aanwezig zijn.

De frequenties van de beide tonen van 400Hz en 8kHz worden met RV2 en RV4 ingesteld. Het eenvoudigst kan men dit met een frequentiemeter doen, terwijl ook de scope hiertoe gebruikt kan worden. Men kan ook de weerstanden R7+RV2 en R8+RV4 vervangen door vaste weerstanden. Als men voor C4 = 10nF aanhoudt, levert een weerstand van 250K de 400Hz frequentie op en een weerstand van 12,5K de frequentie van 8kHz.

Het gebruik van de generator

De generator wordt op de ingang van een bandrecorder aangesloten. Zet de schakelaar in de 400Hz stand. Stel het opname niveau op de recorder in op −10dB. Spoel terug en geef weer. Stel het weergave niveau eveneens in op −10dB. Bij de verdere procedure moet er aan deze instelling niets meer veranderd worden.

Bij de nu volgende testopnamen zet u de generator op "auto". Nu worden afwisselend beide frequenties opgenomen. Voor elke test verdraait u de voormagnetisatieregelaar een weinig. Na elke opname spoelt u terug en geeft het opgenomene weer. De amplitude van het 400Hz signaal zal bij de weergave niet veranderen. Het 8kHz signaal, zal echter afhankelijk van de voormagnetisatie sterker of zwakker worden. Door de test een aantal malen te herhalen moet men een instelling van de voormagnetisatie zien te vinden, waarbij de VU-meter voor beide frequenties ongeveer dezelfde uitslag geeft. Wanneer dit bereikt is, is uw recorder op het gebruikte bandmateriaal afgesteld en kunt u wat dat betreft rekenen op de kwalitatief beste opnamen.

Onderdelenlijst

Weerstanden 1/4 Watt

R1,7	10K
R2	1M
R3,4	47K
R5	4K7
R6	22K
R8	180K

Miniatuur instelpots

RV1	47K
RV2	4K7
RV3	470 Ohm
RV4	100K
RV5	22K

7.8 Testgenerator voormagnetisatie bandrecorders

Condensatoren (10V)

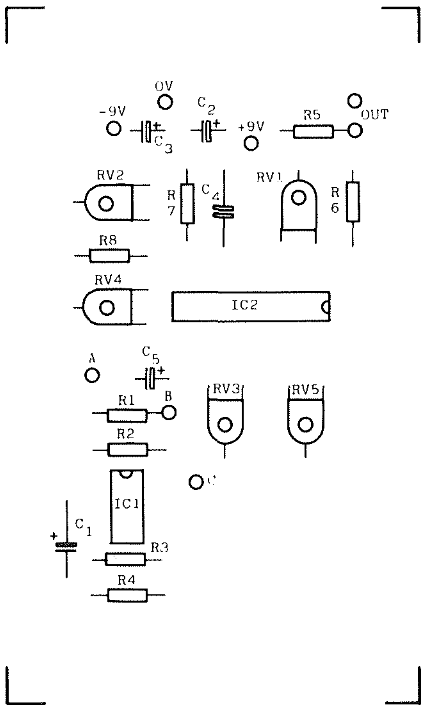
C1	1,5 μF tantaal
C2,3	47 μF tantaal
C4	10 nF folie
C5	1 μF tantaal

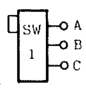
IC's

IC1	CA3140
IC2	XR2206

Diversen

Print materiaal 90 x 65 mm
IC-voetjes
Enkelpolige omschakelaar met middenstand

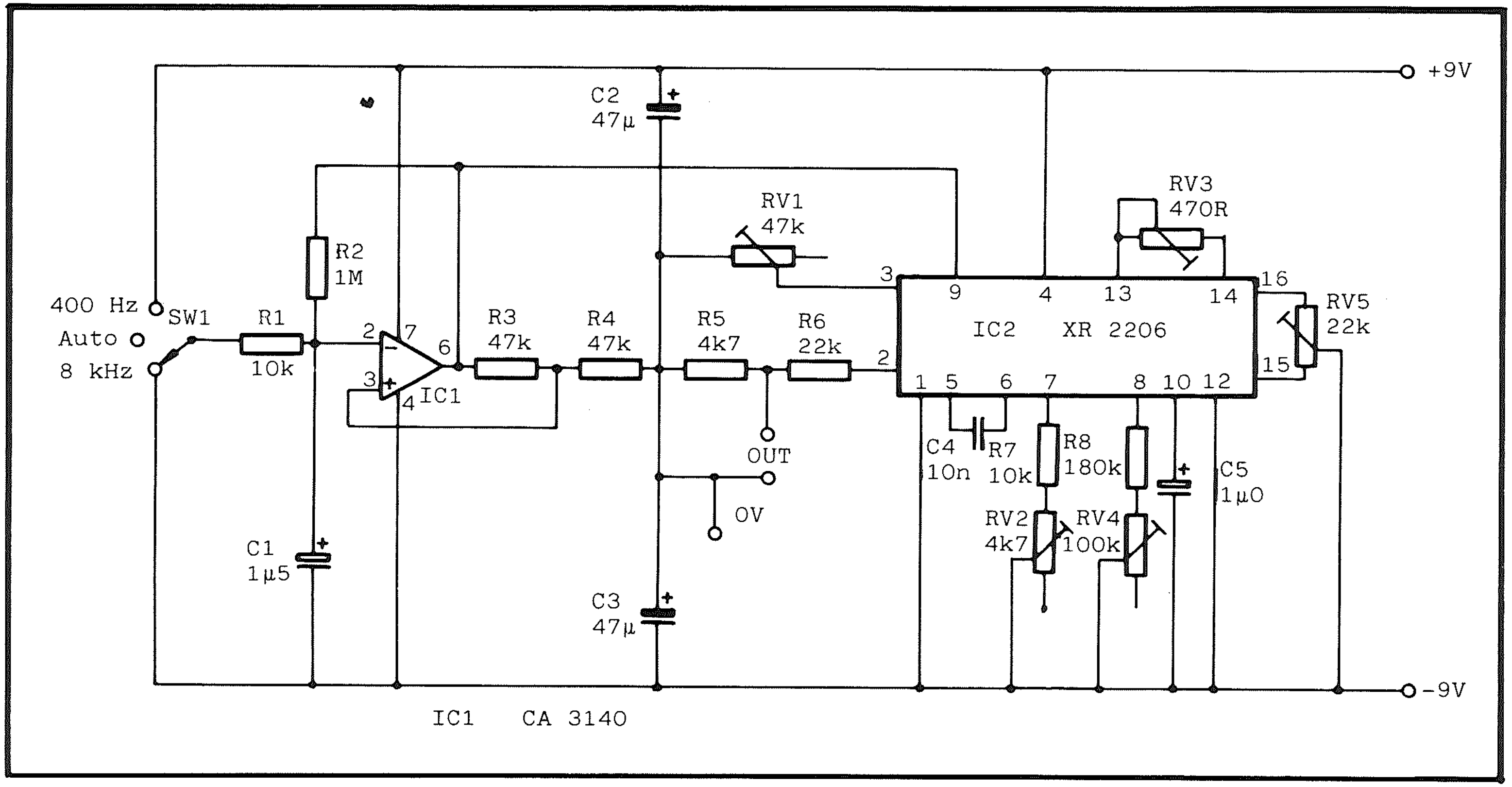




A, B, C = aansluitingen voor schakelaar

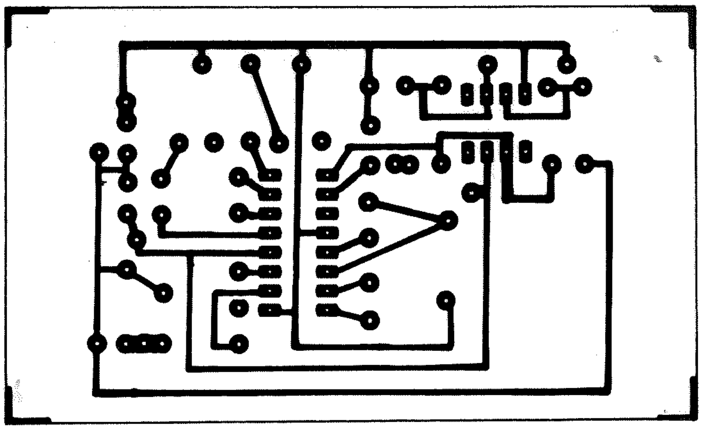
Figuur 4/7.8 -3: Onderdelen plattegrond

7.8 Testgenerator voormagnetisatie bandrecorders



Figuur 4/7.8 -1: Schema

7.8 Testgenerator afregelen voor magnetische bandrecorders



Figuur 4/7.8 -2: De print lay-out

4/7.9

Eenvoudige curve-tracer

Het paspoort van een halfgeleider

Van ieder elektronisch onderdeel kan men een zogenaamde transfer- of uitgangs-karakteristiek opstellen. Een grafiek, waarin de stroom die door het onderdeel vloeit wordt uitgezet in functie van de spanning die over het onderdeel staat. Deze grafiek geeft dus het verloop van de dynamische weerstand of impedantie van het onderdeel voor verschillende instelpunten, ieder gedefinieerd door een welbepaalde spanning over en stroom door het onderdeel.

Deze karakteristiek vormt als het ware het paspoort van het onderdeel. Een heleboel gegevens van het onderdeel kunnen er uit afgeleid worden. Het zal dan ook geen verbazing wekken dat de beste testmethode om de conditie van een elektronisch onderdeel te onderzoeken erin bestaat deze transfer-karakteristiek op het scherm van een oscilloscoop te schrijven.

De NPN-transistor als voorbeeld

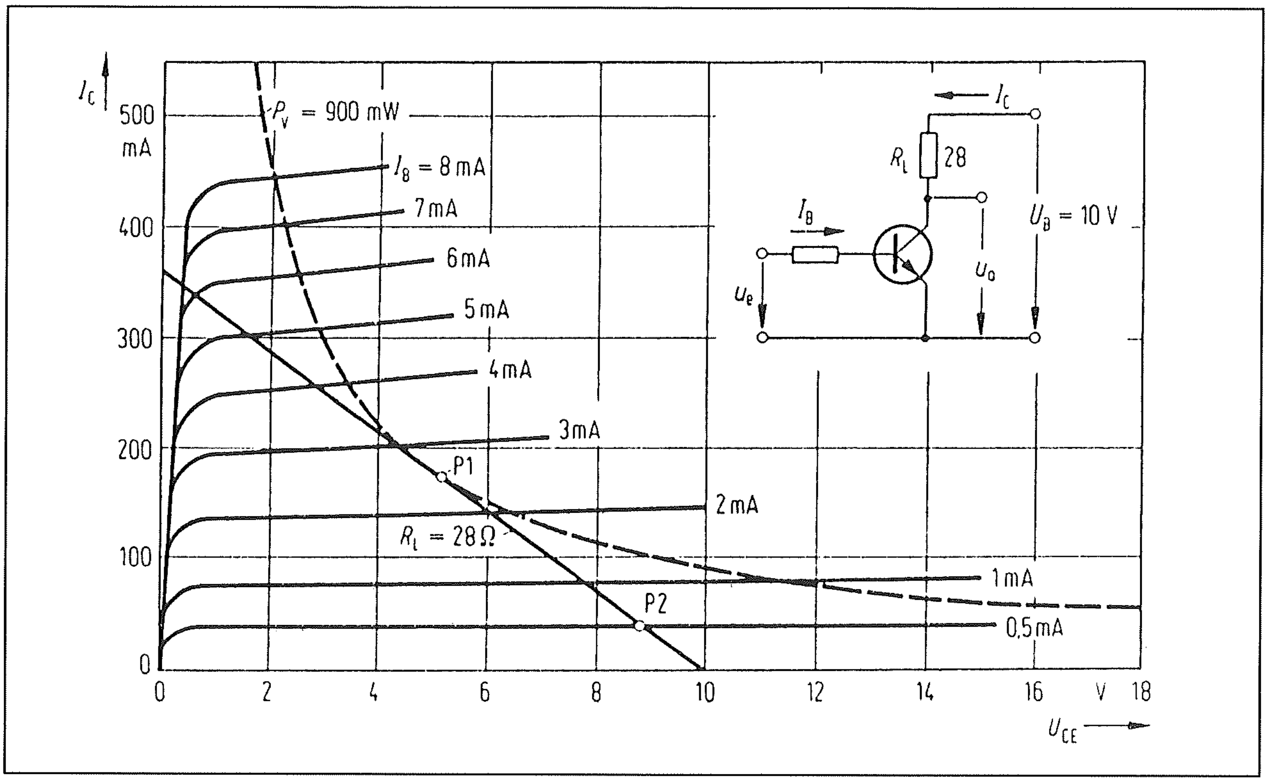
In figuur 4/7.9-1 is de uitgangskarakteristiek van een NPN-transistor getekend. Op de horizontale as wordt de collector-emitter spanning uitgezet, op de verticale as de collectorstroom die daarvan het gevolg is. Omdat een transistor drie aansluitingen heeft en de stroom die door de basis vloeit de eigenschappen van het onderdeel mede bepaalt, bestaat de uitgangskarakteristiek van een transistor uit een bundel grafieken, die ieder het verband tussen de U_{ce} en de I_c voor één welbepaalde grootte van de basisstroom definiëren.
Uit deze grafieken blijkt dat een transistor bij kleine waarden van de collector-emitter spanning een kleine inwendige weerstand heeft. Bij de geringste variatie van de spanning neemt de stroom immers behoorlijk toe of af. Boven een bepaalde drempel gaan de karakteristieken tamelijk horizontaal verlopen, hetgeen overeen komt met een zeer grote inwendige weerstand. Wel blijkt dat de waarde van de dynamische weerstand ook afhankelijk is van de basisstroom. Als deze grootheid stijgt zal de grafiek minder vlak verlopen en zoals gezegd, hoe groter de helling, hoe lager de inwendige weerstand!

Kortom, de U_{ce}/I_c-karakteristiek van een transistor vormt als het ware een röntgen-foto van het component, die volledig en ondubbelzinnig uitsluitsel geeft over de lichamelijke gezondheid van de halfgeleider.

Curve-tracers

Voor het opnemen van de transfer-karakteristiek van een elektronisch onderdeel zijn er mooie apparaten op de markt, zogenaamde curve-tracers of karakteristieken-schrijvers. Deze worden verbonden

7.9 Eenvoudige curve-tracer

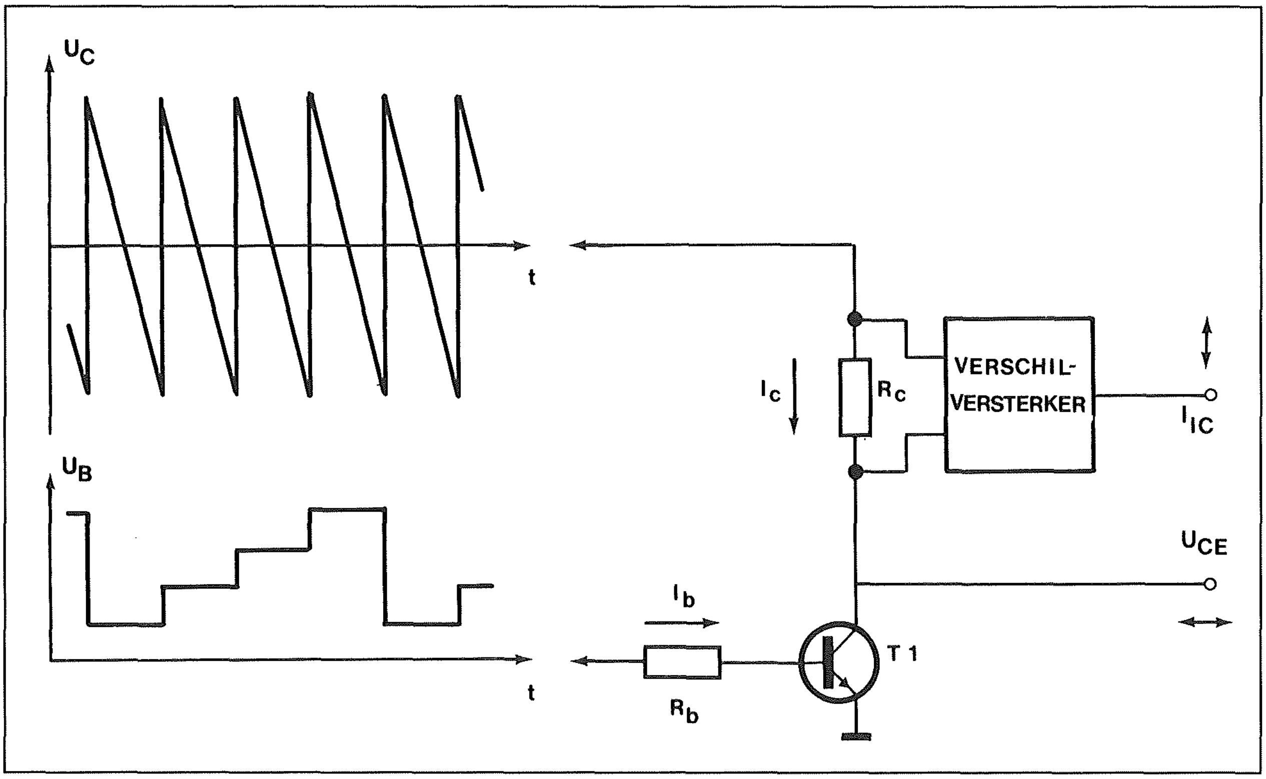


Figuur 4/7.9-1: De bundel grafieken van de uitgangs-karakteristiek van een NPN-transistor geeft het verband tussen Uce en Ic voor verschillende basisstromen en geeft een ondubbelzinnige indicatie over de toestand van de halfgeleider.

met het te testen onderdeel en met de horizontale en verticale versterkers van een oscilloscoop, die op x/y-mode ingesteld kan worden.
Zoals uit figuur 4/7.9-2 blijkt, stuurt het apparaat bepaalde spanningen en stromen naar het onderdeel en meet zowel het verloop van de spanning over als het verloop van de stroom door het onderdeel. Deze twee grootheden worden eventueel nog eens versterkt en nadien aangeboden aan de twee versterkers van de oscilloscoop. Omdat de tijdbasis van dit apparaat is uitgeschakeld zal de spot in horizontale richting beïnvloed worden door de grootte van het ene signaal en in verticale richting door de grootte van het tweede signaal van de curve-tracer. De transfer-karakteristiek of de bundel uitgangs-grafieken verschijnt op het scherm.

Een curve-tracer bestaat steeds uit een zaagtandgenerator, die een lineair stijgende of dalende spanning Uc over het onderdeel zet. Op deze manier wordt de horizontale as van de transfer-karakteristiek nagebootst, waar immers ook de spanning over het onderdeel varieert van nul tot een bepaalde maximale waarde.
Om de bundel grafieken van de uitgangs-karakteristiek van een transistor op te wekken wordt er voor iedere zaagtand een

7.9 Eenvoudige curve-tracer



Figuur 4/7.9-2: De principiële werking van een curve-tracer of karakteristieken schrijver.

andere stroom in de basis gestuurd. Een curve-tracer bevat dus als tweede belangrijke blok een trapspanningsgenerator Ub, die gesynchroniseerd wordt met de zaagtandgenerator.

De spanning over het te testen onderdeel staat tussen de massa en de collector en kan dus zonder meer worden afgetakt van de collector en aangeboden aan de horizontale versterker van de oscilloscoop. Iets moeilijker is het om de stroom door het onderdeel te meten. Dat kan alleen door een kleine weerstand Rc in serie met het te testen onderdeel op te nemen en de spanningsval over deze weerstand te meten.
Deze is immers, zie de Wet van Ohm, proportioneel met de grootte van de stroom die er doorheen vloeit. De spanningsval wordt gemeten door de spanningen tussen beide aansluitingen van de weerstand en de massa van elkaar af te trekken in een verschilversterker. Aan de uitgang van deze versterker staat een spanning, die recht evenredig is met de grootte van de stroom door de weerstand en dus door het te testen onderdeel. Deze spanning stuurt de verticale versterker van de oscilloscoop.

Zelfbouw curve-tracer

Nu zijn dergelijke curve-tracers tamelijk duur en de aanschaf van zo'n meetapparaat zal zeker voor de doe-het-zelver niet lonend zijn. Ook diverse in de internationale vakpers beschreven zelfbouwalternatieven blinken niet uit in ongecom-

pliceerdheid. Dat wordt veroorzaakt door het feit dat de ontwerpers deze apparaten zo universeel mogelijk willen maken en geschikt voor het testen van halfgeleiders onder extreme omstandigheden. Zodat men bijvoorbeeld de collector-emitter spanning regelbaar maakt tot meerdere honderden V en de collectorstroom meerdere A kan bedragen. Om te verhinderen dat de te testen halfgeleiders onmiddellijk sneuvelen als zij op de tracer worden aangesloten zijn dan weer ingewikkelde beveiligingsschakelingen noodzakelijk.
Daarnaast bezitten deze apparaten geijkte stroom- en spanningsassen met omschakelbare bereiken.

Als men echter genoegen neemt men een eenvoudig apparaatje, waarmee men onder dynamische omstandigheden kan testen of een bipolaire transistor, een FET of een zenerdiode het nog doet, dan hoeft al dat ingewikkelds niet en kan men, zie figuur 4/7.9-3, een klein apparaatje nabouwen op een printje van slechts 14,5 bij 9 cm^2.

Het blokschema van de zelfbouw tracer

Het blokschema van de in dit hoofdstuk beschreven curve-tracer is getekend in figuur 4/7.9-4.
Een zaagtandoscillator wekt een symmetrische zaagtand op met als spanningsgrenzen +/-12 V. Dit signaal wordt nadien versterkt in een stroomversterker, zodat de uitgang van de schakeling collectorstromen tot ongeveer 50 mA kan leveren.
Door middel van de schakelar S1 kan men twee voorschakelweerstanden met een verhouding van 1/10 in serie met het te testen onderdeel opnemen. Het apparaat heeft dus twee stroombereiken. De spanning over deze voorschakelweerstand wordt in een verschilversterker omgezet in een spanning, evenredig met de stroom.
De uitgang van de zaagtandoscillator stuurt de trapspanningsgenerator, die een positieve en uit vier treden bestaande trapspanning genereert. Dit signaal wordt geïnverteerd, zodat men via de omschakelaar S2 zowel positieve als negatieve signalen voor de basis of de gate aan het te testen onderdeel kan aanbieden.
Men kan dus vier grafieken van de bundel op het scherm zetten, hetgeen in de praktijk meer dan voldoende is.

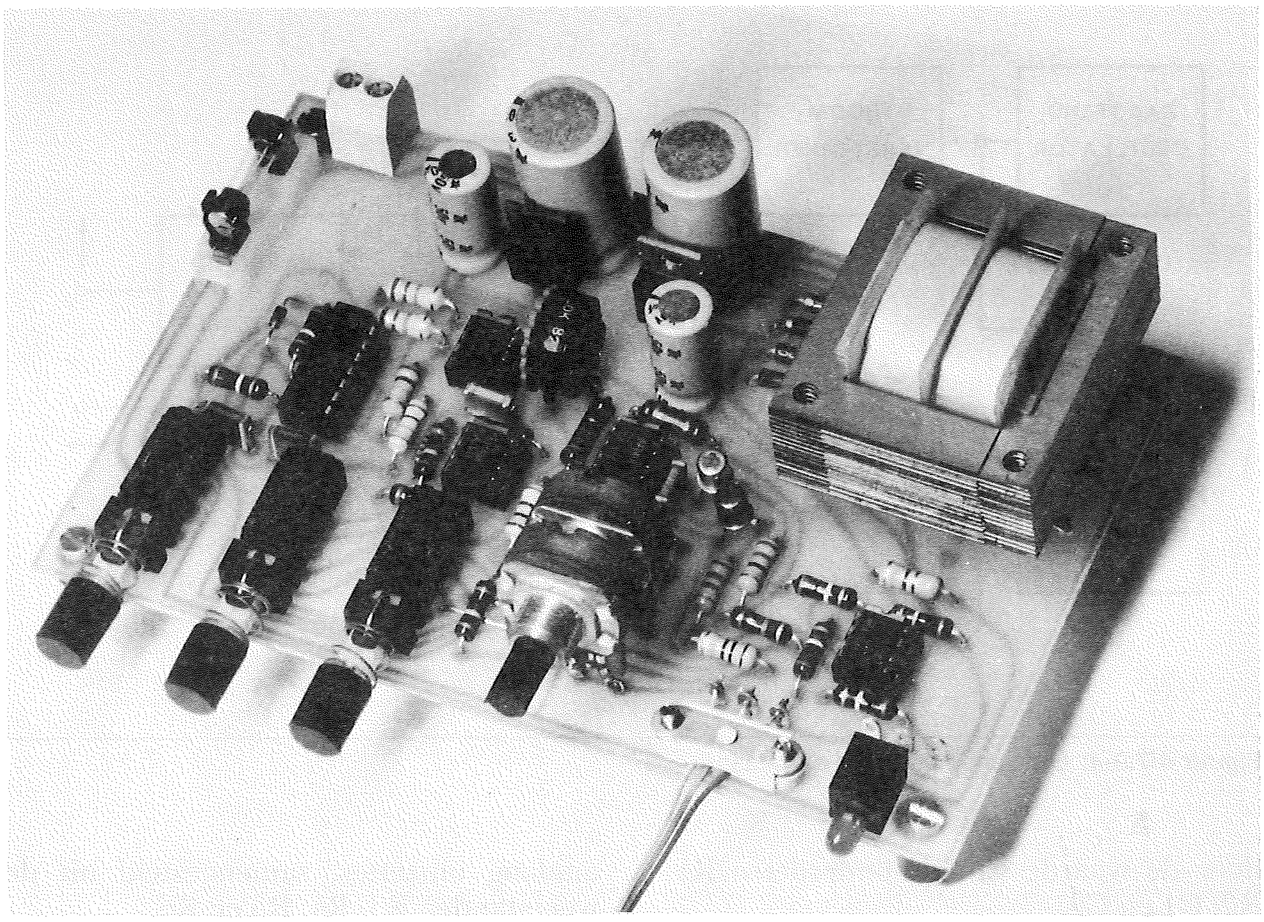
Noteer dan de U_{ce} voor alle te testen onderdelen symmetrisch is en dat er dus ook aan een NPN-transistor een negatieve spanning word aangeboden. Dat heeft zijn voor- en nadelen, maar een van de grootste voordelen is wel dat men het ongeveer symmetrische gedrag van een FET mooi kan bestuderen. Wij komen daar later, bij de voorbeelden, op terug.

Het praktische schema

Het volledige schema van de curve-tracer is getekend in de figuren 4/7.9-5 en 4/7.9-6. Er worden enige tamelijk ongebruikelijke, maar vele onderdelen besparende technieken toegepast, zodat de werking van de schakeling het best aan de hand van de grafieken van figuur 4/7.9-7 te doorgronden zal zijn. In eerste instantie kan het er zelfs op lijken dat de schakeling niet voldoet aan het blokschema van figuur 4/7.9-4, maar als men eenmaal de werking van het praktische schema onder de knie heeft zal blijken dat het ene toch met het andere in overeenstemming is!

Het hart van de schakeling wordt gevormd door een dubbele flip-flop IC1 van het CD 4013 B type.

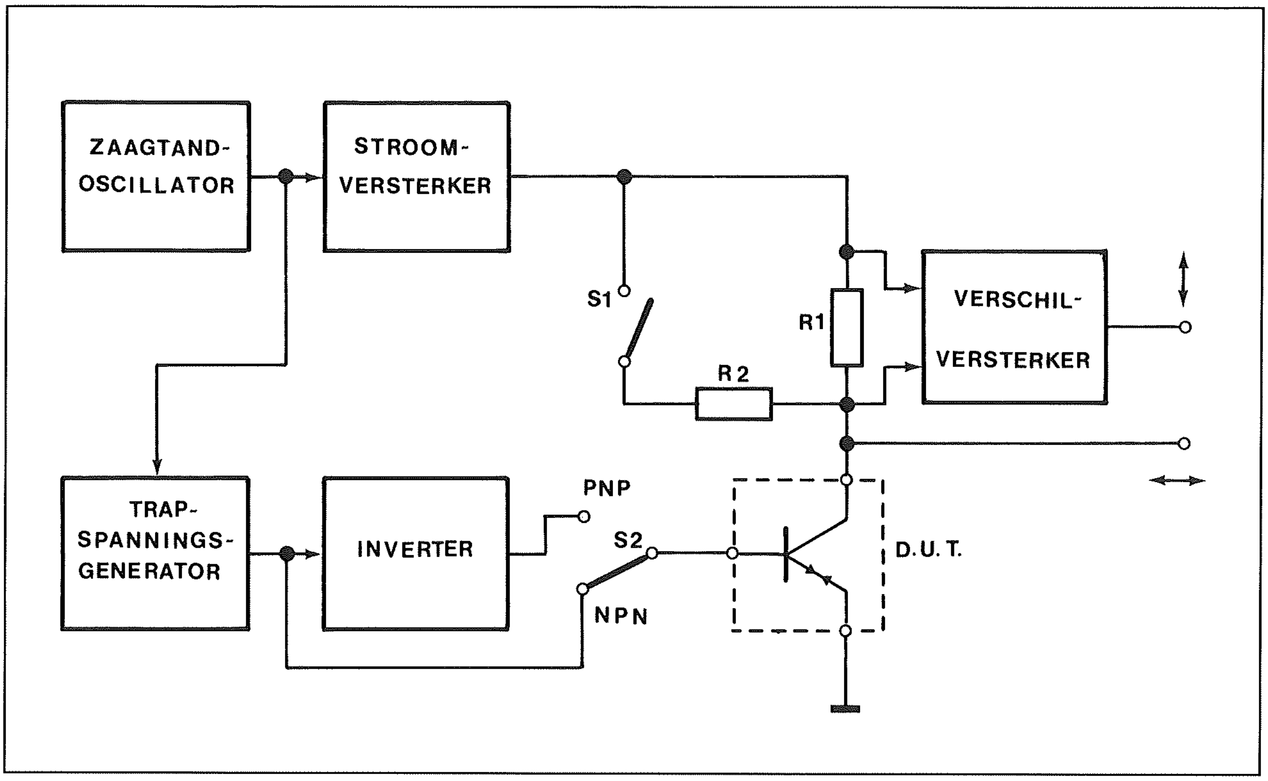
7.9 Eenvoudige curve-tracer



Figuur 4/7.9-3: Het proto-type van de in dit hoofdstuk beschreven eenvoudige curve-tracer.

De linker schakeling is als astabiele multivibrator geschakeld. De eerste vrij originele oplossing, die minstens één IC bespaart! Hoe die schakeling werkt volgt uit de grafieken van de spanningen S1 tot en met S4. Stel dat op tijdstip t1 de Q1-uitgang (S1) "H" wordt. De condensator C2, verbonden met de reset van de flipflop, zal zich langzaam via weerstand R2 uit deze hoge spanning opladen. Na een bepaalde tijd, om precies te zijn op tijdstip t2, zal de spanning over de condensator de reset-drempel van de schakeling bereiken. De flip-flop reset, de uitgang Q1 gaat naar "L" en de Q1-NIET uitgang (signaal S2) wordt "H". Condensator C2 ontlaadt erg snel naar de lage Q-uitgang via de diode D2. Ondertussen begint condensator C1 uit de hoge Q1-NIET uitgang op te laden via weerstand R1. Deze condensator is verbonden met de set van de flip-flop en na een bepaalde tijd wordt de spanning over dit onderdeel groter dan de set-waarde en de flip-flop set. Q1 wordt weer "H", Q1-NIET weer "L" en de volgende cyclus kan beginnen. De schakeling wekt dus een symmetrische blokspanning op, waarvan de frequentie wordt bepaald

7.9 Eenvoudige curve-tracer



Figuur 4/7.9-4: Blokschema van het apparaat.

door de waarde van de onderdelen R1, R2, C1 en C2.

De rechter flip-flop uit de CD 4013 B is geschakeld als tweedeler. Dat is een bekende schakeling, die tot stand komt door de Q2-NIET uitgang rechtstreeks te verbinden met de D2-ingang. Bij iedere positieve flank van het klok-signaal zal de Q2-uitgang de waarde van D2 overnemen. Omdat D2 steeds tegengesteld is aan de spanning op Q2 (immers verbonden met de Q2-NIET) zal de flip-flop bij iedere positieve klok-flank omschakelen. Op punt S5 staat dus ook een blokgolf, maar met de halve frequentie van de signalen S1 en S2.

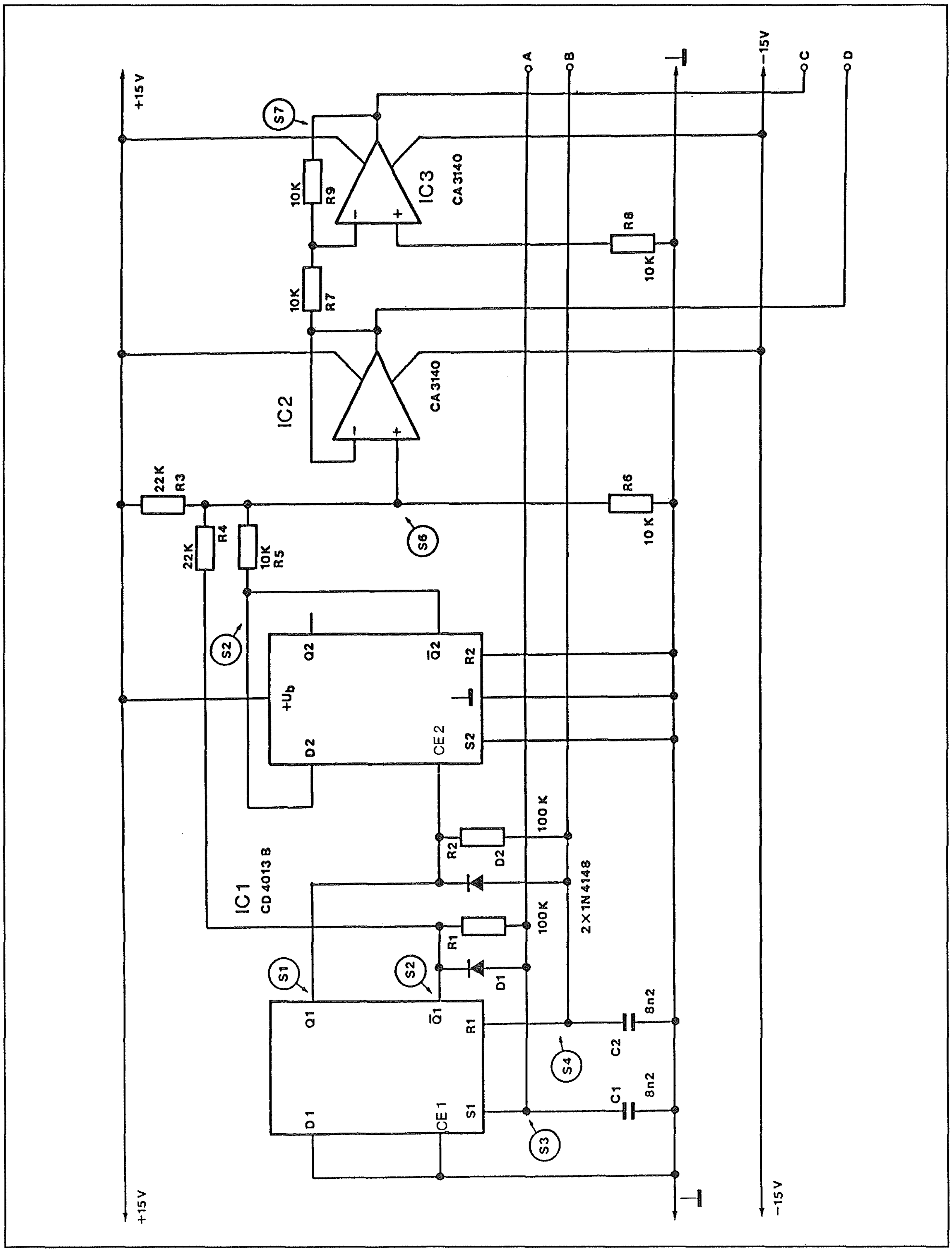
De blokgolven S2 en S5 worden aangeboden aan een heel eenvoudige digitaal naar analoog omzetter, samengesteld uit de weerstanden R3, R4, R5 en R6.

Op tijdstip t1 zijn zowel S2 als S5 "L". Op het knooppunt S6 van de vier weerstanden ontstaat een kleine positieve spanning, waarvan de waarde wordt bepaald door de onderlinge verhouding van de weerstanden. R4, R5 en R6 gaan naar de massa, alleen R3 voert stroom aan uit de positieve voedingsspanning.

Op tijdstip t2 wordt S2 "H". Nu voeren R3 en R4 stroom aan naar punt S6, R5 en R6 zijn nog steeds met de massa verbonden. Het gevolg is dat de spanning op punt S6 ietst stijgt.

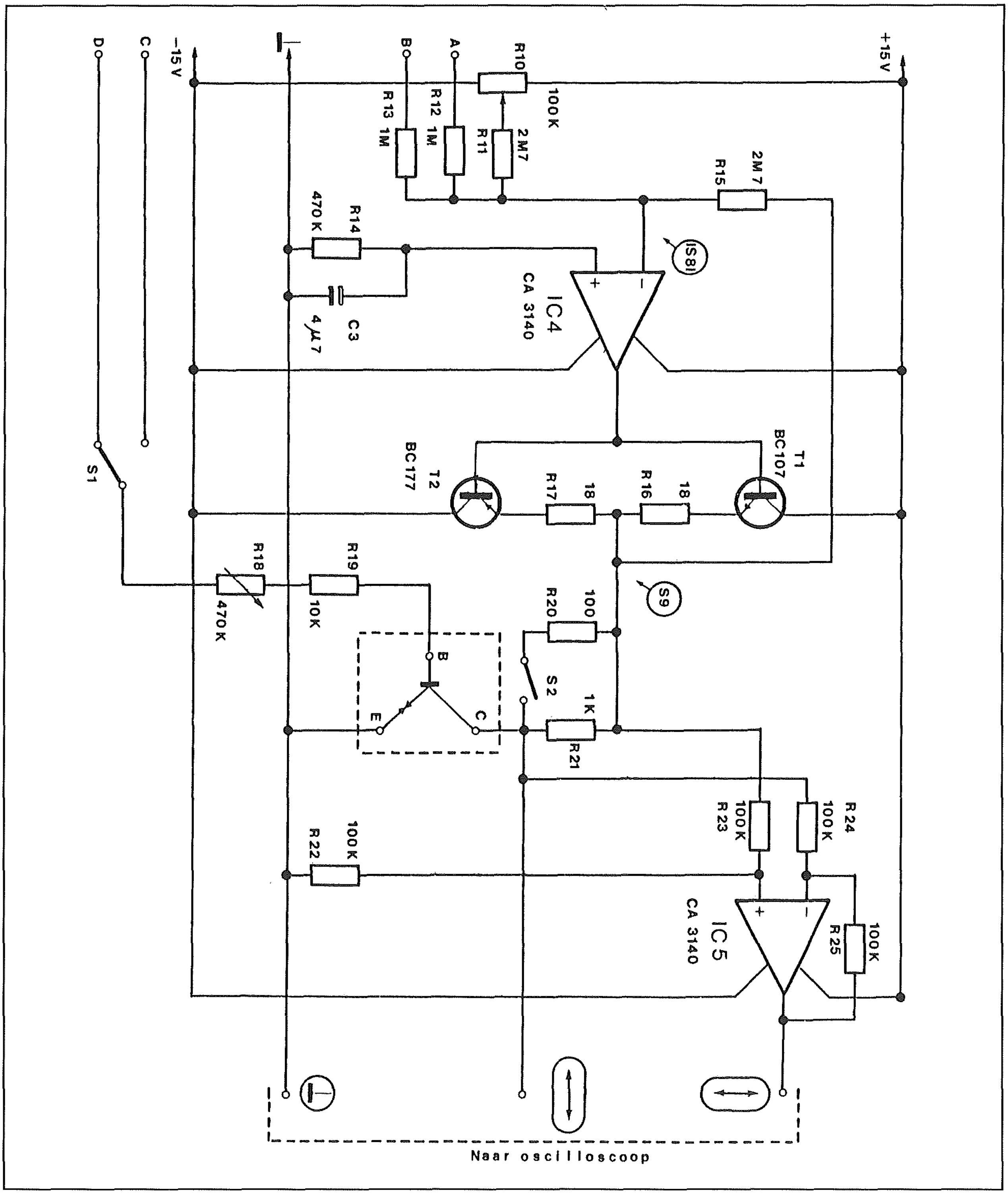
Op tijdstip t3 wordt S2 weer "L", maar wordt S5 "H". Omdat R5 kleiner is dan R4 wordt er meer stroom aangevoerd, zodat de spanning op S6 weer iets zal stijgen.

7.9 Eenvoudige curve-tracer



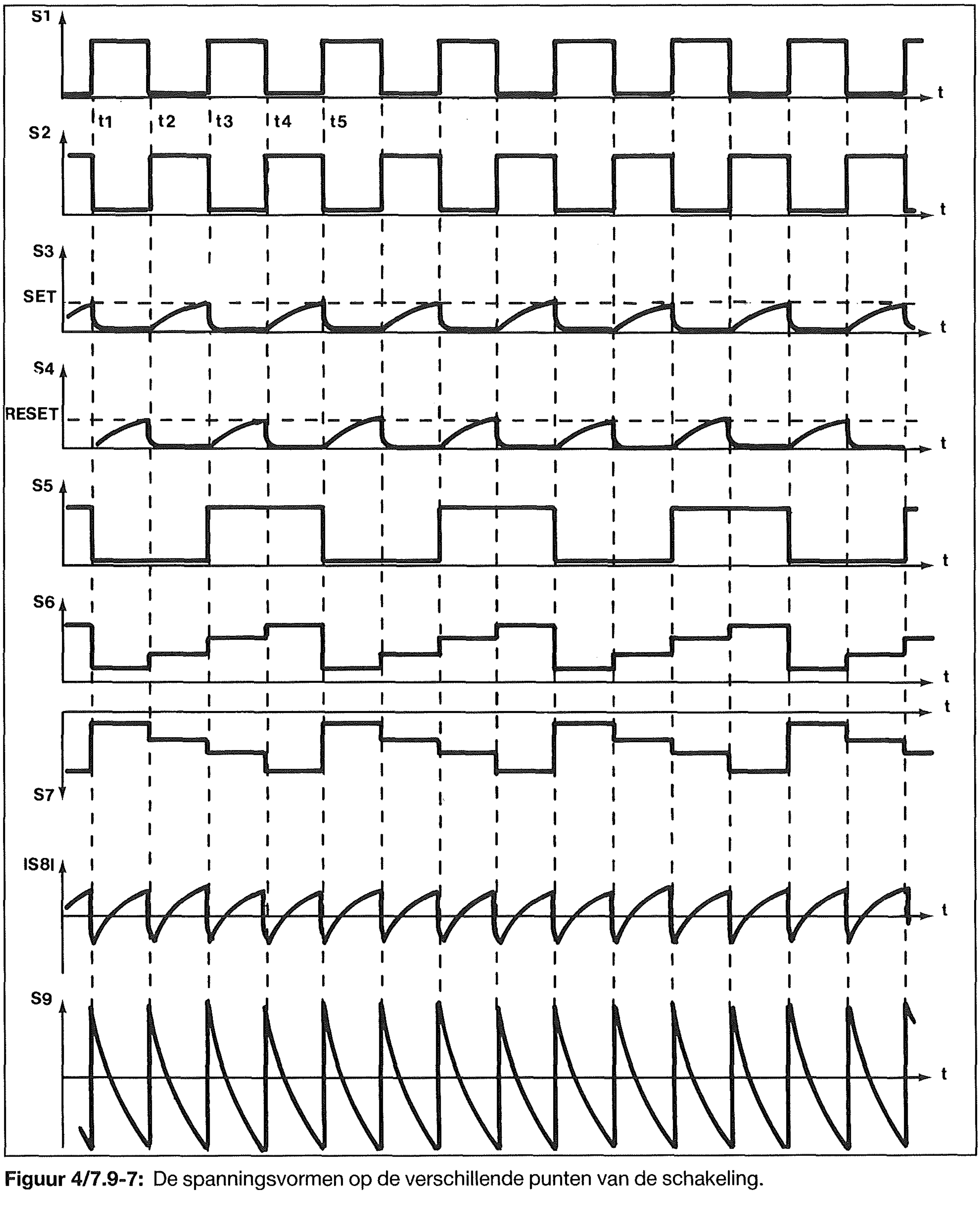
Figuur 4/7.9-5: Praktisch schema, deel 1.

7.9 Eenvoudige curve-tracer



Figuur 4/7.9-6: Praktisch schema, deel 2.

7.9 Eenvoudige curve-tracer



Figuur 4/7.9-7: De spanningsvormen op de verschillende punten van de schakeling.

7.9 Eenvoudige curve-tracer

Op tijdstip t4, ten slotte, zijn zowel S2 als S5 "H" en zijn de weerstanden R3, R4 en R5 met een positieve spanning verbonden. De spanning op S6 stijgt tot een maximale waarde.
Het gevolg is dat op punt S6 een positieve viertredige trapspanning ontstaat, waarbij er door de selectie van de weerstanden voor gezorgd is dat iedere trede even hoog is.

Deze spanning wordt door de bufferversterker IC2 gebufferd, de uitgang van deze schakeling stuurt enerzijds via punt D de PNP/NPN omschakelaar S1 en anderzijds de inverterende versterker IC3. Deze inverteert het positieve trapsignaal, zodat aan de uitgang op punt S7 een gelijkvormige maar negatief verlopende trapspanning ontstaat. Deze gaat via punt C naar de tweede pool van de reeds genoemde omschakelaar S1.

Het moedercontact van deze schakelaar stuurt via de weerstanden R18 en R19 een instelbare stroom in de basis van de te testen halfgeleider.

Als men de spanningen op de set- en resetingangen van IC1a bekijkt, zie de grafieken S3 en S4, dan zal men vaststellen dat beide punten zaagtandvormige spanningen voeren. Weliswaar zijn beide signalen niet zuiver periodisch, maar als men de twee signalen zou optellen, dan ontstaat een mooie periodisch verlopende zaagtand.
Dat is nu precies wat er gebeurt in de schakeling rond IC4. De set- en resetsignalen worden via de punten A en B en de weerstanden R12 en R13 aangeboden aan de inverterende ingang van de operationele versterker. Naast deze twee positieve signalen wordt er via weerstand R11 een negatieve spanning aangevoerd, afkomstig van de instelpotentiometer R10. Omdat de niet-inverterende ingang van de op-amp aan de massa ligt via weerstand R14 en de schakeling is tegengekoppeld via weerstand R15 zal de spanning op de inverterende ingang ook nul zijn. In feite is de schakeling stroomgestuurd en leveren de weerstanden R11, R12 en R13 stromen aan het knooppunt. Om toch een indruk te krijgen van de werking van deze trap is een imaginair signaal |S8| ingevoerd, de spanning die op dat punt zou ontstaan als het systeem door de terugkoppeling niet naar nul zou streven. Om dat imaginaire signaal |S8| te compenseren moet er op de uitgang van de schakeling een geïnverteerd signaal ontstaan. Deze spanning S9 voert ook een stroom aan naar het knooppunt op de inverterende versterker en wel via weerstand R15. Omdat deze weerstand groter is dan de som van R11, R12 en R13, zal de spanning S9 ook groter moeten zijn dan het signaal |S8|. Alleen dan zal de stroom die via R15 worden aangevoerd de stromen die via de overige drie weerstanden naar de inverterende ingang vloeien kunnen compenseren.

Het gevolg is dat op de uitgang van de trap een negatief verlopende zaagtand ontstaat met een top-tot-top waarde van 24 V. Door het verdraaien van de loper van R10 kan men dit signaal mooi symmetrisch maken ten opzichte van de massa.

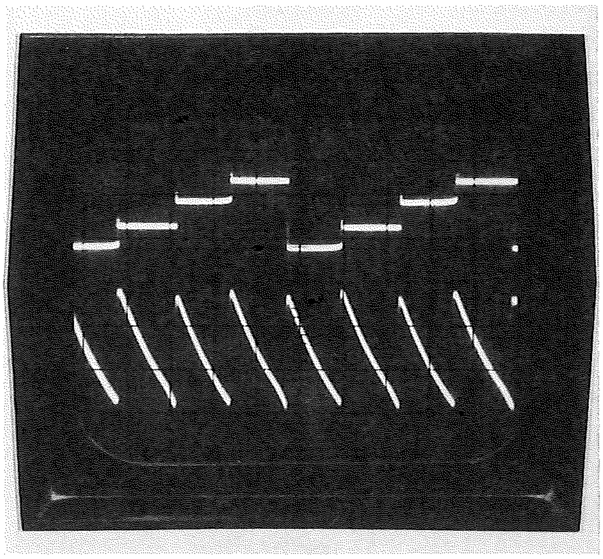
De op-amp IC4 wordt afgesloten met een complementaire eindtrap, die in de tegenkoppeling is opgenomen en er voor zorgt dat de zaagtand met een stroom van ongeveer 50 mA belast kan worden.

Deze spanning gaat via de weerstand R21 naar de collector van het te testen onder-

deel. Door het sluiten van schakelaar S2 kan men de weerstand met een factor tien verlagen.

De spanning op de collector gaat rechtstreeks naar de horizontale versterker van de scoop. Over de serieweerstand is een verschilversterker IC5 aangesloten, die de spanningsval over de weerstand berekent en dit met de collectorstroom evenredig signaal aan de verticale scoop-versterker aanbiedt.

Dat theorie en praktijk mooi op elkaar aansluiten blijkt uit de foto van figuur 4/7.9-8, waar de praktische verschijning van de signalen S6 en S9 wordt voorgesteld.
Merk op dat de toppen van de zaagtanden iets in amplitude verspringen. Dat is het gevolg van het feit dat de drempels waarop de set en de reset reageren niet precies aan elkaar gelijk zijn.



Figuur 4/7.9-8: De twee stuursignalen die de curve-tracer aan het te testen onderdeel levert.

De voeding

De voeding is getekend in figuur 4/7.9-9 en is uiterst traditioneel van opbouw. Uit een Amroh printvoedingstrafo worden met behulp van 7815 en 7915 stabilisatoren spanningen van +/-15 V afgeleid. De condensatoren C8 en C9 zijn over de print verspreid aangebracht tussen de voedingsbanen en ontkoppelen de volledige schakeling.

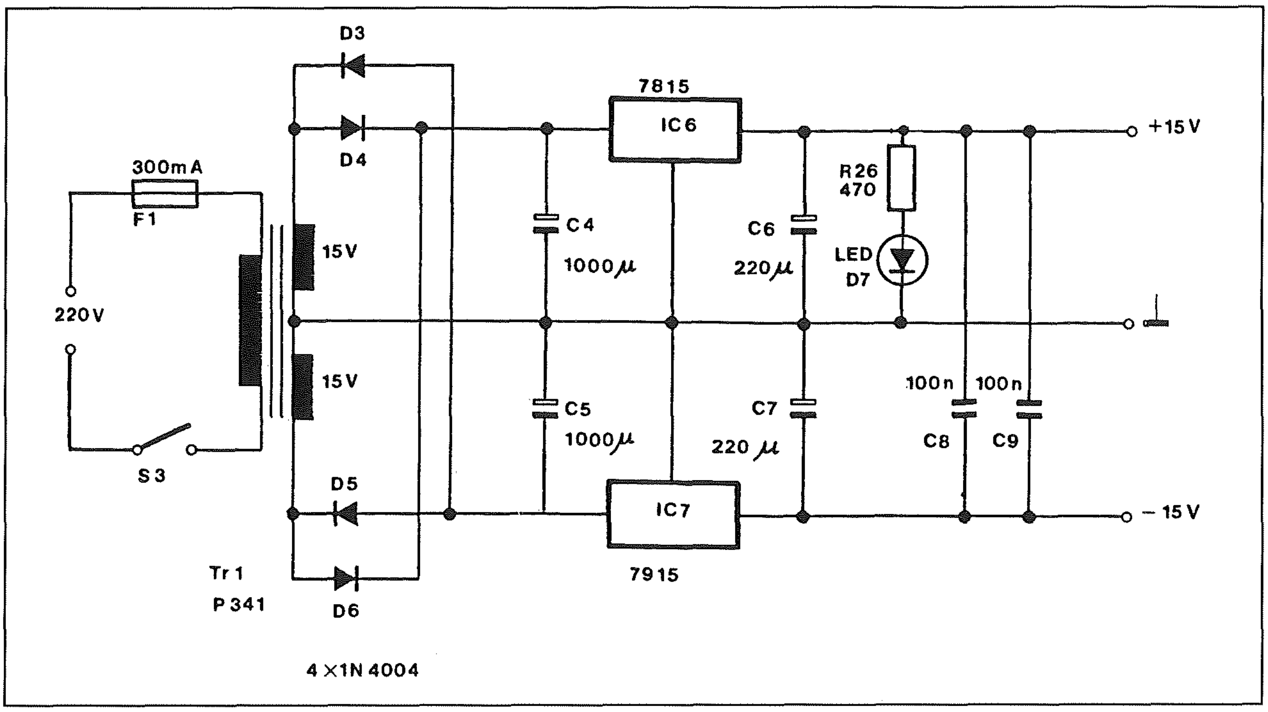
De bouw van de curve-tracer

Op de print van figuur 4/7.9-10 kunnen alle onderdelen worden geplaatst, zodat een zeer compact en gemakkelijk te behandelen geheel ontstaat. Denk er echter wel steeds aan dat ook de netspanning op de print aanwezig is!
De montage van de schakeling wordt uitgevoerd aan de hand van de onderdelenopstelling van figuur 4/7.9-11.

Enige richtlijnen zijn wellicht op hun plaats:

- Er zijn drie draadbruggen noodzakelijk, twee onder de potentiometer R18 en een in de buurt van de instelpotentiometer R10.
- Hoewel dat niet noodzakelijk is, is bij het prototype gebruik gemaakt van een stereo-uitvoering voor R18, dit omdat zo'n onderdeel veel stabieler en steviger op de print staat.
- De drie printschakelaars zijn van Schadow en kunnen, als deze niet verkrijgbaar zouden zijn, uiteraard vervangen worden door tuimelschakelaars die men op een frontplaatje bevestigd.
- De LED D7 is gemonteerd in een haakse houder, maar dit is alleen ter verfraaiing gedaan en niet noodzakelijk.
- De scoop wordt met behulp van afgeschermde snoertjes verbonden met de drie printpennen "↕", "↔" en "⊥".

7.9 Eenvoudige curve-tracer



Figuur 4/7.9-9: De voeding van de curve-tracer.

- Aan de printpennen "E", "B" en "C" wordt een ongeveer 80 cm lang drieaderig vlak bandkabeltje gesoldeerd, dat door middel van een uit een netsteker gesloopte trekontlasting wordt gefixeerd op de print.
- Aan de andere zijde van dit kabeltje kan men drie "mini-clips" solderen zodat, zie figuur 4/7.9-12, de te testen onderdelen zeer gemakkelijk met de curve-tracer verbonden kunnen worden.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W

R1,R2,R22, R23,R24,R25	= 100 kΩ
R3,R4	= 22 kΩ
R5,R6,R7,R8, R9,R19	= 10 kΩ
R11,R15	= 2,7 MΩ
R12,R13	= 1 MΩ
R14	= 470 kΩ
R16,R17	= 18 Ω
R20	= 100 Ω
R21	= 1 kΩ
R26	= 470 Ω

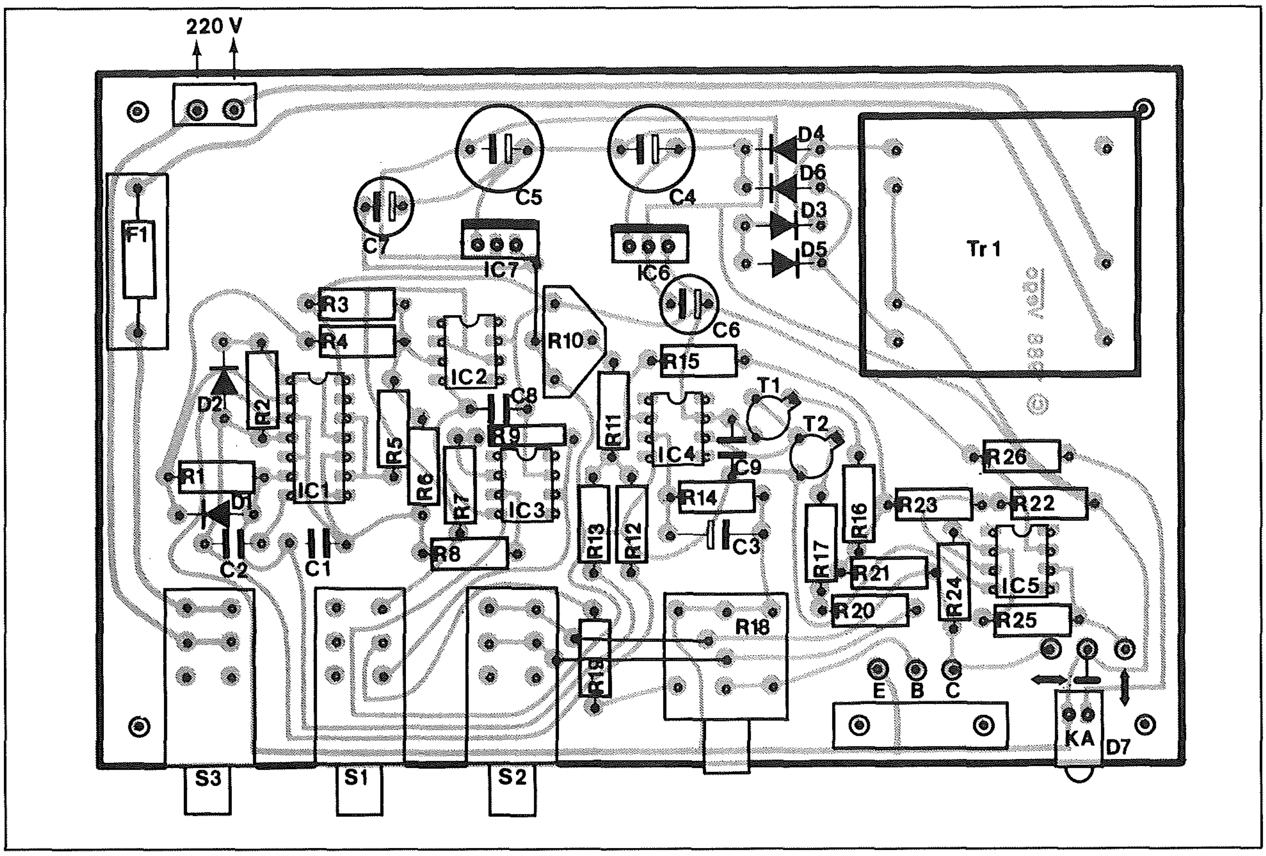
Potentiometers

R10	= 100 kΩ, instel, 10 x 5 staand
R18	= 470 kΩ, draai, stereo, lin

Condensatoren

C1,C2	= 8,2 nF, MKH
C3	= 4,7 μF, 16 V elco
C4,C5	= 1000 μF, 25 V print-elco
C6,C7	= 220 μF, 25 V print-elco
C8,C9	= 100 nF, MKH

7.9 Eenvoudige curve-tracer



Figuur 4/7.9-11: De componenten-opstelling.

Halfgeleiders

D1,D2	= 1 N 4148
D3,D4,D5,D6	= 1 N 4004
D7	= 5 mm LED, rood
T1	= BC 107
T2	= BC 177

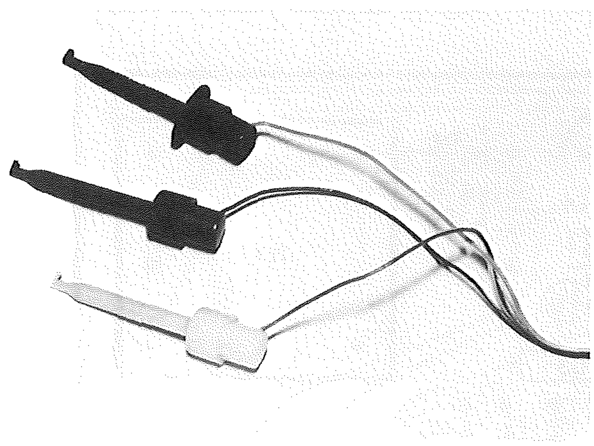
Geïntegreerde schakelingen

IC1	= CD 4013 B
IC2,IC3, IC4,IC5	= CA 3140
IC6	= 7815
IC7	= 7915

Diversen

Tr1	= P 341 trafo (Amroh), 2x 15 V, 2 x 200 mA
S1,S2,S3	= 2 x OM druk- schakelaars, Schadow
F1	= printzekeringhouder + 300 mA zekering

1 x tweepolig printkroonsteentje
4 x 8-pens IC-voetje
1 x 14-pens IC-voetje
6 x printsoldeerlipje
1 x haakse LED-houder, 5 mm
3 x mini-clips (Hirschmann)
4 x 10 mm kunststof afstandsbusje
4 x M 3 x 20 boutjes
4 x M 3 moertjes
1 x trekontlasting uit netsteker



Figuur 4/7.9-12: Mini-clips aan de aansluitdraadjes zorgen voor een goed contact tussen curve-tracer en te testen onderdeel.

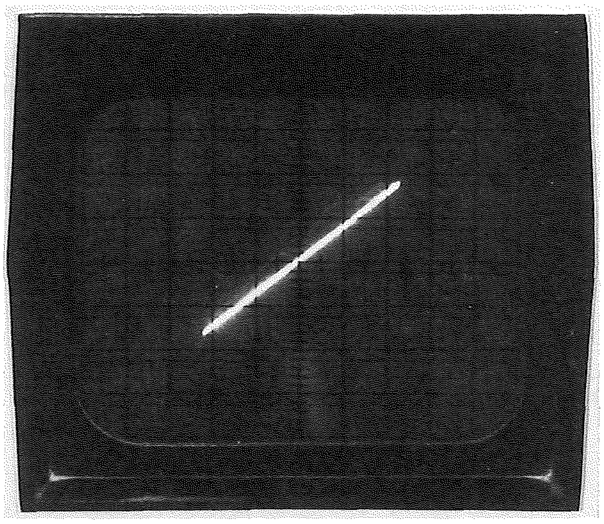
In gebruik nemen van de curve-tracer

Bij het inschakelen van de voeding moet de tracer het zonder meer doen. Het enige dat men moet afregelen is de symmetrie van de collectorspanning. Schakel de scoop tussen de massa en de aansluitlip "C" en regel met R10 af tot de zaagtandspanning symmetrisch is ten opzichte van de massa. Voor de zekerheid kan men ook nog de spanning op soldeerlip "B" controleren voor beide standen van de schakelaar S1. In beide standen moet een trapvormige spanning zichtbaar zijn, in de ene stand positief en de andere stand negatief.

Enige voorbeelden

Aan de hand van negen schermbeeld foto's worden de karakteristieken die op het scherm verschijnen bij het testen van verschillende soorten onderdelen in het kort besproken. Bij de weerstand en de dioden worden de onderdelen aangesloten tussen de "E" en de "C" en blijft de "B" ongebruikt.

- Weerstanden, figuur 4/7.9-13
  Dat de Heer Ohm het bij het rechte einde had toen hij zijn beroemde wet formuleerde blijkt uit dit beeld dat op het scherm verschijnt als men een weerstand op de tracer aansluit. De rechte lijn wijst op het lineaire verband tussen spanning over en stroom door een weerstand. De helling van de lijn hangt (behalve uiteraard van de instelling van de scoop-versterkers) alleen af van de waarde van de weerstand.



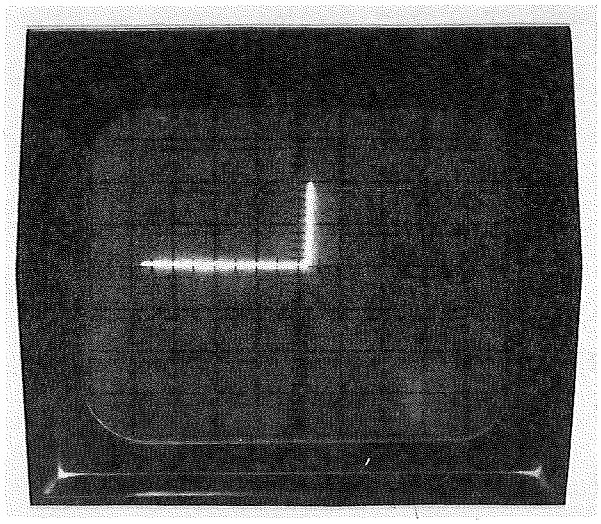
Figuur 4/7.9-13: Karakteristiek van een gewone weerstand.

- Silicium diode, figuur 4/7.9-14
  Duidelijk is te zien hoe een diode spert bij negatieve spanningen tussen anode en kathode en gaat geleiden als de spanning omkeert van polariteit.

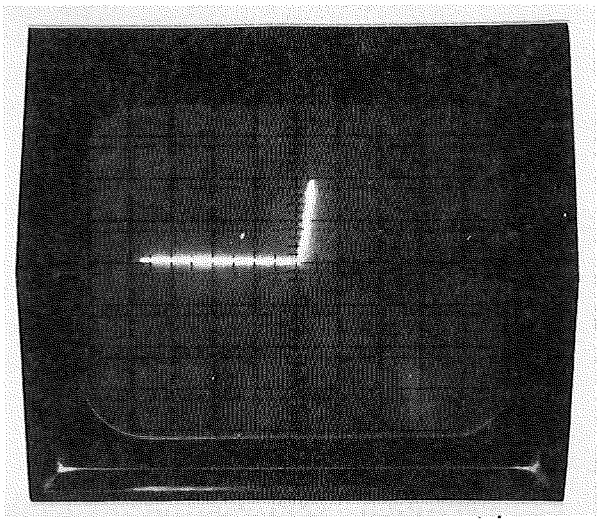
- Germanium diode, figuur 4/7.9-15
  Ongeveer hetzefde beeld als van een silicium diode, duidelijk merkbaar is echter de lagere geleidingsspanning, de knik in de grafiek zit iets dichter tegen het midden van het scherm aan, daar

7.9 Eenvoudige curve-tracer

waar de spanning overgaat van positief naar negatief. Uit de kleinere helling van de karakteristiek blijkt echter dat een germanium diode een hogere dynamische weerstand heeft.

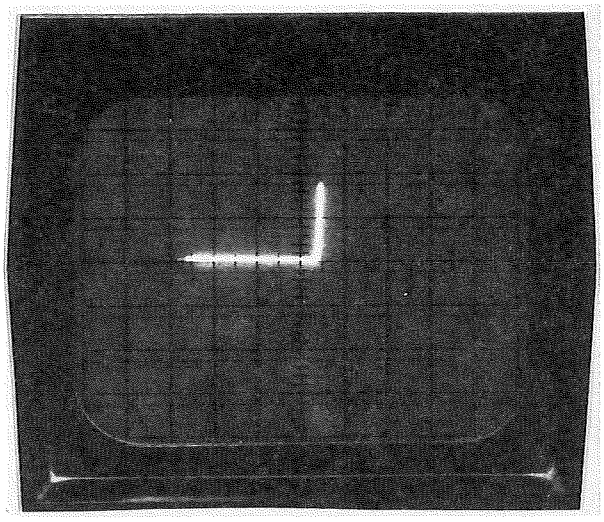


Figuur 4/7.9-14: Een silicium diode op de testbank.



Figuur 4/7.9-15: Een germanium diode heeft een iets hellend verlopende grafiek.

- LED, figuur 4/7.9-16
  Een LED is weliswaar een speciale diode, maar gedraagt zich elektrisch zoals iedere andere diode. Wel ziet men duidelijk dat de geleidingsspanning hoger is dan deze van een silicium diode.

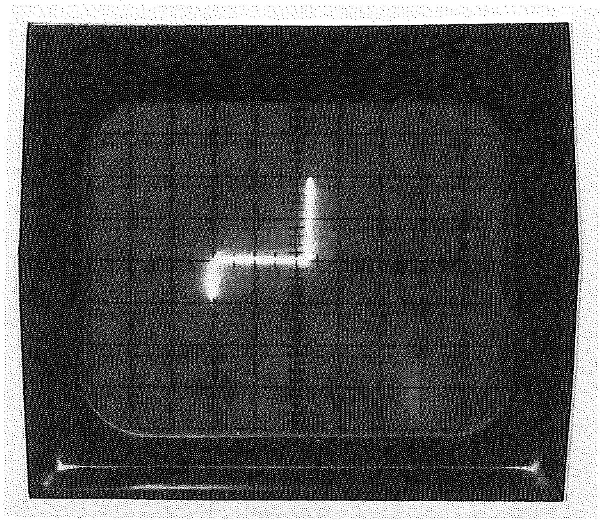


Figuur 4/7.9-16: Een LED heeft duidelijk zichtbaar een grote geleidingsspanning.

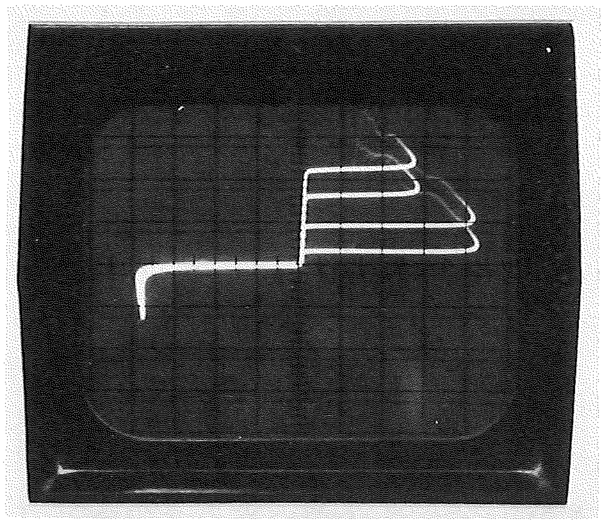
- Zenerdiode, figuur 4/7.9-17
  Heel fraai plaatje, waaruit zowel het geleidings-karakter voor positieve spanningen als het doorslag-karakter voor negatieve spanningen volgt! Doordat de maximale negatieve spanning van de zaagtand echter maar -12 V is, kan men geen zenerdioden met een doorslagspanning van meer dan ongeveer 10 V testen.

- Laagvermogen NPN-transistor (BC 107), figuur 4/7.9-18
  De bekende uitgangskarakteristiek van figuur 4/7.9-1 op het scherm! De vreemdsoortige knikken in de grafieken aan het einde van de lijnen hebben niets te maken met de transistor zélf, maar alles met de niet ideale vorm van de zaagtandspanning. De terugslag van de zaagtand ontstaat, denk even terug aan de schema-beschrijving, door het ontla-

7.9 Eenvoudige curve-tracer



Figuur 4/7.9-17: Een 9 V zener op de curve-tracer.



Figuur 4/7.9-18: Een goede BC 107 geeft een dergelijk plaatje.

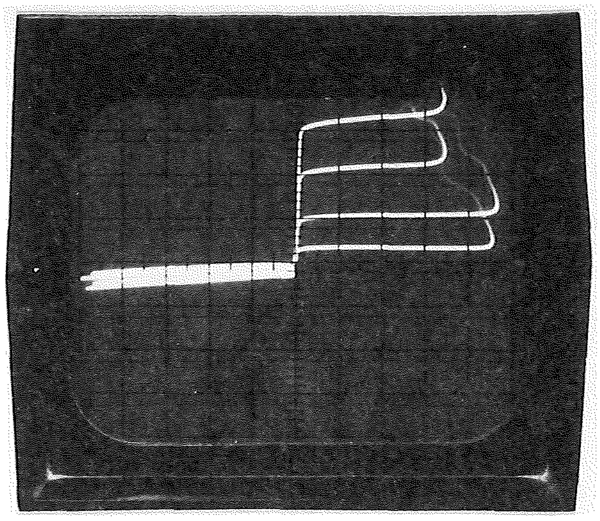
den van de set- en reset-condensatoren via dioden naar de lage uitgangen van de flip-flop. Nu is dat geen ideaal systeem, want deze uitgangen hebben een tamelijk hoge impedantie. Het duurt dus even alvorens alle lading is afgevloeid en de terugslag van de zaagtand neemt enige tijd in beslag. Dit is op het scherm duidelijk zichtbaar als schoonheidsfoutje, maar uiteraard is dit verschijnsel niet storend voor het interpreteren van de metingen. De geteste transistor heeft een zeer lage inverse doorslagspanning. Kijk maar naar het linker beelddeel, waar een zenerachtige karakteristiek ontstaat.

- Hoogvermogen NPN-transistor (2 N 3055), figuur 4/7.9-19
Duidelijk blijkt uit dit beeld dat de geteste transistor een tamelijk hoge lekstroom heeft. De negatieve delen van het beeld (links) lopen namelijk niet vlak, maar hebben een duidelijk merkbare helling. Dit verschijnsel werd opzettelijk opgewekt door de halfgeleider flink heet te stoken met een soldeerbout tot het beeld volledig op hol sloeg en nadien de transistor weer te laten afkoelen. Deze eenmalige mishandeling bleek dus blijvende gevolgen te hebben!

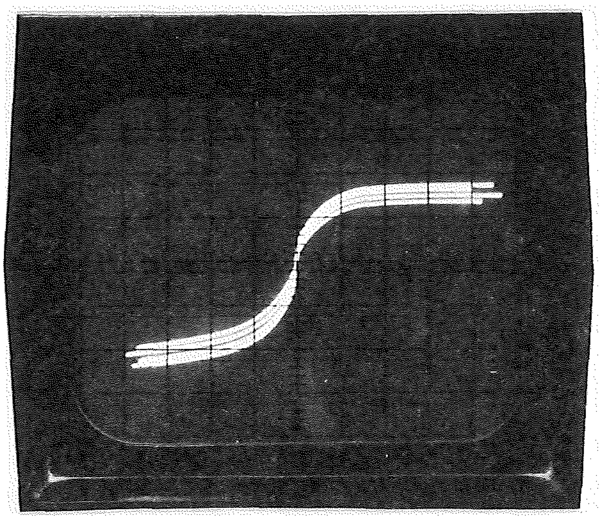
- Laagvermogen PNP-transistor (BC 177), figuur 4/7.9-20
Uiteraard draait het beeld nu rond de assen (vergeet niet schakelaar S1 in de andere stand te zetten!). Ook nu is het begin van doorslag merkbaar.

- FET (2 N 3819), figuur 4/7.9-21
Een heel fraai beeld waaruit duidelijk de ongeveer symmetrische werking van een FET blijkt. Het maakt weinig uit of men de drain positief of negatief maakt ten opzichte van de source. De curve kan verdeeld worden in de brede pinch-off zone rond de nul en nadien het lineaire gebied.

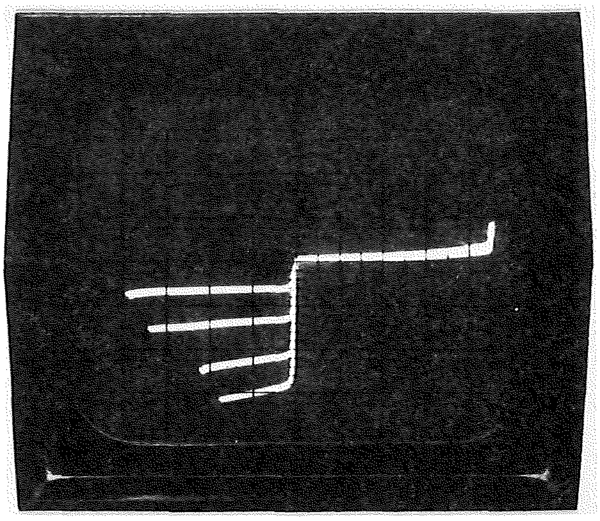
7.9 Eenvoudige curve-tracer



Figuur 4/7.9-19: Een 2 N 3055 die na overdadige opwarming met een tamelijk grote lekstroom door het leven blijft gaan.



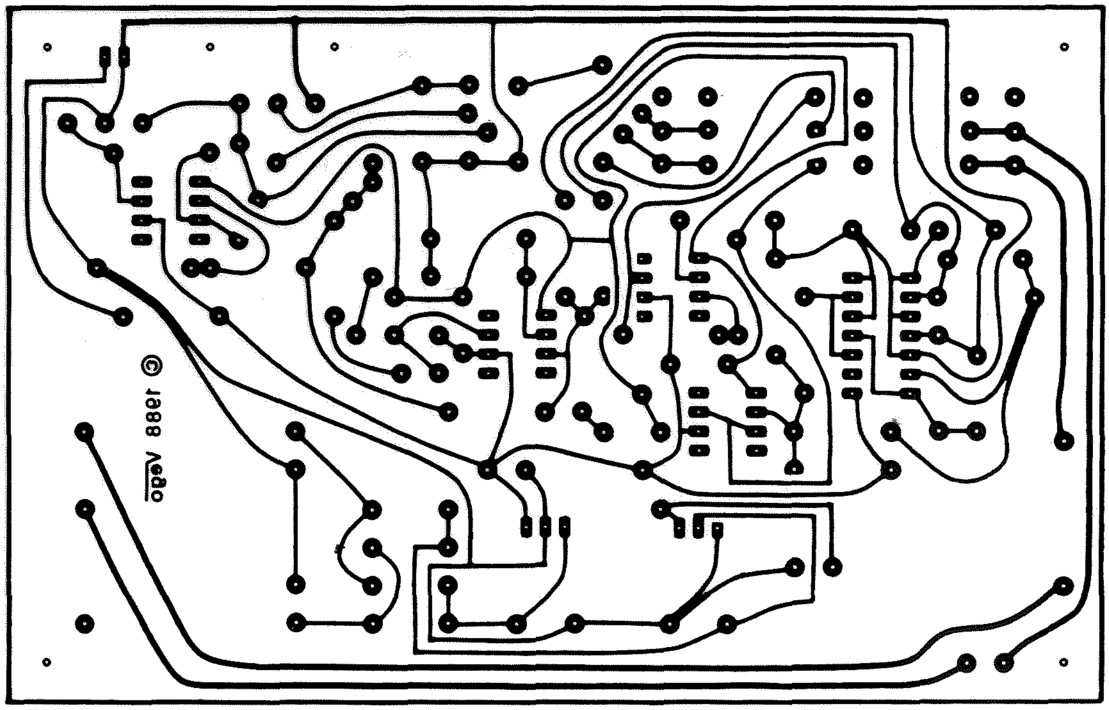
Figuur 4/7.9-21: De symmetrische eigenschappen van een FET in de praktijk bewezen.



Figuur 4/7.9-20: Een BC 177 zet de karakteristiek op de kop.

7.9 Eenvoudige curve-tracer

7.9 Eenvoudige curve-tracer



Figuur 4/7.9-10: De print van de curve-tracer.

4/7.10

Verbindingstester

Een gemeten verbinding resulteert in een piepje

Een astabiele multivibrator, een der basisschakelingen uit de elektronica, wordt gebruikt voor het opwekken van een pieptoon in dit handige testertje voor elektrische verbindingen. Als men een kant en klare print koopt in een elektronicawinkel dan gaat men er dikwijls van uit dat de print goed is, om dan later te ontdekken, dat die moeilijk opspoorbare fout in de gebouwde schakeling een breuk in een printspoor blijkt te zijn en dan natuurlijk liefst onder een component. Ook het testen van de doorverbindingen van een dubbelzijdige print voorkomt dikwijls een hoop ergernis achteraf. Dit testertje met zijn hoorbare verbindingsindicator voorkomt, dat U duizelig wordt van het op en neer kijken naar de multimeter.

De werking van de schakeling

Bij de eerste blik op het schema herkent U de astabiele multivibrator, waarop deze pieper is gebaseerd. Het lijkt ons overbodig de werking van deze basisschakeling uit te leggen. Wanneer de testpunten (via de te meten verbinding) met elkaar worden verbonden ontstaat over de piëzo-zoemer een blokgolf die ervoor zorgt dat de zoemer een toon voortbrengt. Het geheel wordt gevoed uit een 1,5 V batterijtje.

Bouwhandleiding

Alle onderdelen worden op de print aangebracht, inclusief de zoemer en de batterijhouder. Beide worden op de print gelijmd. De totale schakeling kan met wat handigheid in een stuk plastiek pijp worden gemonteerd. Aan een uiteinde wordt de pijp afgesloten en van een testpunt voorzien. (Een koperen spijker voldoet vaak uitstekend.) Ook een platte behuizing, zoals een afgedankte tandenborstelhouder of een ander doosje kan worden gebruikt. Het geheel moet goed in de hand liggen. Aan de achterzijde wordt een testpen aangesloten via een niet al te lange draad met een stekerbus verbinding.

Bedienings handleiding

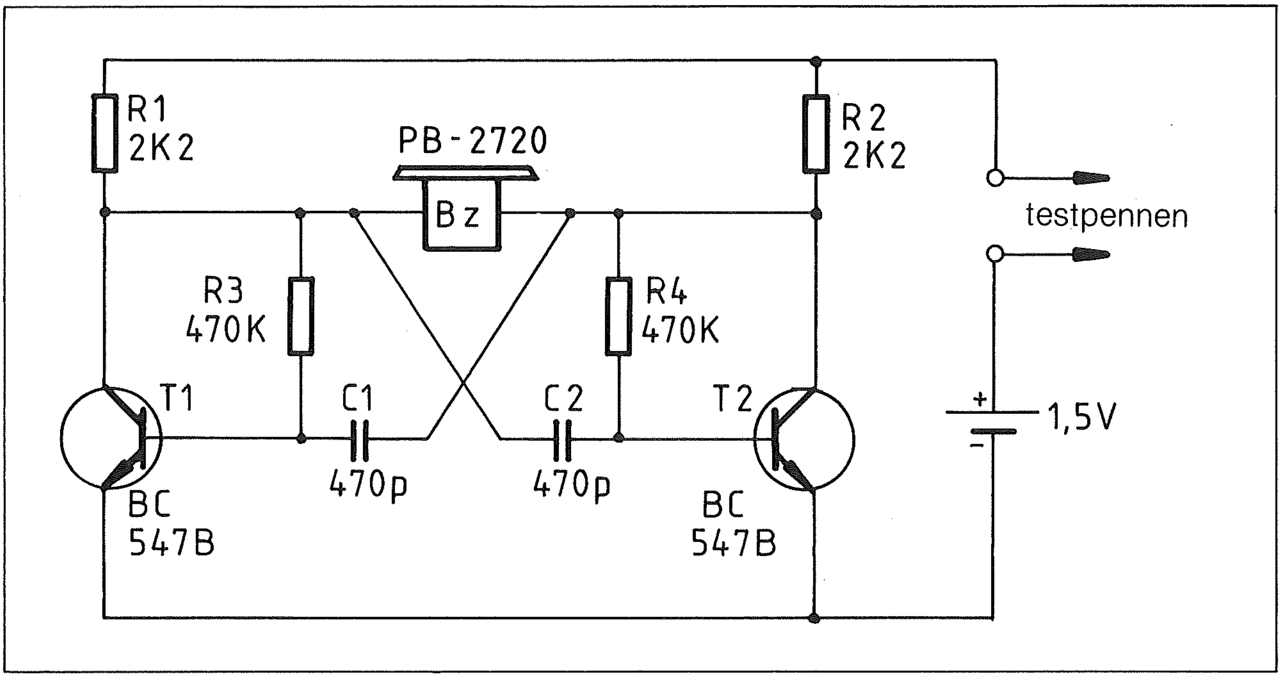
Als men een printspoor wil testen plaatst men de ene testpen aan de ene zijde van het te testen spoor en de andere testpen aan het andere uiteinde. Als de tester piept is de verbinding goed, zoniet dan is er een onderbreking. De ervaring heeft geleerd, dat ook een slecht contact van een der testpennen nogal eens de oorzaak van de onderbreking pleegt te zijn. Het iets verplaatsen van de testpen en/of wat

harder drukken om door corrosie te prikken is altijd de eerste actie, alvorens conclusies te trekken. Is er werkelijk geen verbinding dan kan men door met een meetpen het printspoor te volgen en op diverse plaatsen te meten er achter proberen te komen waar de onderbreking zich bevindt. Bij het testen van verbindingen in gereed zijnde schakelingen, moet men er voor zorgen dat deze geen spanning dragen, daar anders de tester beschadigd kan worden. Denk vooral ook aan spanningen die nog op condensatoren aanwezig kan zijn!

Onderdelenlijst:

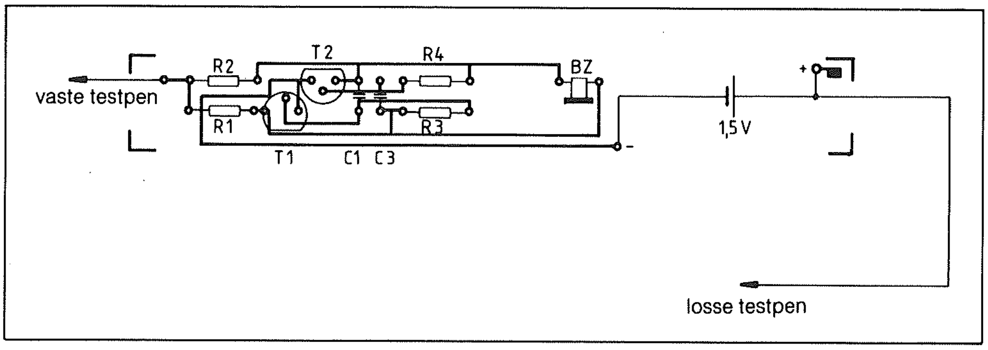
T1, T2	Transistor BC547B
R1, R2	Weerstand 2,2 k-Ohm, 1/4 W
R3, R4	Weerstand 470 k-Ohm, 1/4 W
C1, C2	Condensator 470 pF, 10 V
Bz	Piëzozoemer PB-2720 (Toko)
Diversen	– 2 Meetpunten – Batterijhouder voor Mignon cel – 1 batterijcel 1,5 V (Mignon) – Print ca 155 x 25 mm – Behuizing (zie tekst)

4.7.10 Verbindingstester



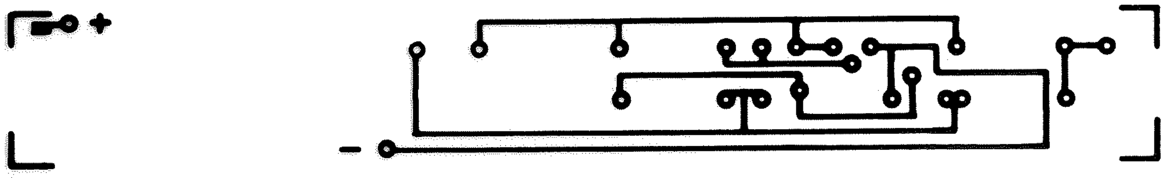
Figuur 4/7.10 -1:
Verbindingstester

4.7.10 Verbindingstester



Figuur 4/7.10 -3:
Onderdelen plattegrond

7.10 Verbindingstester



Figuur 4/7.10 -2:
Printlayout

4/7.11

Eenvoudige functiegenerator

Naast een digitale universeelmeter is een signaalgenerator een onmisbaar instrument voor iedereen die, al is het maar af en toe, elektronische apparaatjes bouwt. Nu zullen hobby-isten die niet wekelijks met hun hobby bezig zijn er weinig voor voelen tussen de *f* 500,00 en *f* 1500,00 uit te geven aan de zelfbouw (of koop) van een van de vele kwalitatief hoogwaardige generatoren die tegenwoordig in de vakpers worden beschreven.

Voor deze hobby-isten staan een aantal mogelijkheden open:
- het gebruik van de tuner- of recorderuitgang als signaalbron. Deze apparaten leveren immers een laagfrequent signaal af met een grootte van ongeveer een halve volt en in principe is zo'n signaal geschikt voor het testen van allerlei laagfrequent schakelingen zoals eindversterkers, geluidsvervormers, etc. Het grote nadeel van deze "signaalbron" is uiteraard dat het signaal niet constant is maar voortdurend op het ritme van het muziek- of spraaksignaal in grootte schommelt. Het is met zo'n signaal onmogelijk om bijvoorbeeld de versterking van een trap na te meten of de frequentieweergave van een schakeling te onderzoeken.
- een heel eenvoudig laagfrequent bronnetje. Vroeger gebruikte men hoofdzakelijk sinus-generatoren al dan niet in combinatie met een blokgolf-vormer. Tegenwoordig worden functiegeneratoren toegepast, die naast de sinus- en blok-spanningen ook nog eens driehoeken en soms zelfs smalle pulsen en zaagtanden leveren.

Het verschil tussen een sinus- en een functie-generator

Wat prestaties betreft is er eigenlijk niet zo'n wezenlijk verschil tussen een "oude" sinusgenerator en een "moderne" functie-generator. De laatste schakeling is in staat een grotere diversiteit aan spanningsvormen op te wekken, maar een sinusgenerator levert een veel mooiere sinus af.
Toch is de werking van beide apparaten fundamenteel zeer verschillend.

Bij een sinusgenerator wordt de sinus opgewekt in een echte sinus-oscillator, bijvoorbeeld een Wien-oscillator. Dit soort schakelingen levert een zeer mooie en tamelijk vervormingsvrije sinus af. Nadien wordt deze sinus door middel van een pulsvormer (Schmitt-trigger) omgezet in een blokgolf.

Bij een functie-generator wordt in basis een driehoekspanning opgewekt, door een condensator te laden en te ontladen

7.11 Eenvoudige functiegenerator

met twee even grote, maar tegengesteld vloeiende stromen. Deze driehoek wordt nadien omgevormd tot een sinus door de toppen van het signaal af te ronden. Vandaar dat functiegeneratoren meer vervorming opwekken, want alhoewel er ingenieuze schakelingen zijn ontwikkeld die de wiskundige sinusvorm zo goed mogelijk volgen, blijft het altijd bij een benadering en een echte zuivere sinus kan een functiegenerator nooit leveren. Maar het grote voordeel van een functiegenerator is dat men door het variëren van de verhouding tussen beide stromen niet alleen mooi symmetrische spanningen kan produceren, maar ook asymmetrische zoals zaagtanden en smalle positieve of negatieve impulsen.

Een functiegenerator met slechts twee IC's!

Het zelfbouwen van de fundamentele functiegenerator is niet mogelijk. Gelukkig hoeft dat ook niet, want tegenwoordig zijn er een aantal IC's op de markt waarin deze schakeling geïntegreerd is! Het enige dat men moet doen is op zo'n IC een heleboel schakelaars en potentiometers aansluiten, waarmee alle kenmerken van het uitgangssignaal, zoals frequentie, symmetrie, golfvorm en amplitude worden vastgelegd.

Een van deze ingewikkelde IC's is de 8038 en dit onderdeel vormt dan ook het hart van de schakeling van figuur 4/7.11-1. De condensator die door middel van twee stromen wordt ontladen en geladen en waarover de driehoek ontstaat wordt aangesloten op pen 10 van het IC (C2). De laad- en ontlaadtijden worden bepaald door de waarde van de weerstanden R3 en R4. Deze twee weerstanden moeten precies aan elkaar gelijk zijn als men prijs stelt op een mooi symmetrisch uitgangssignaal. Vandaar dat beide onderdelen zijn aangesloten op de uiteinden van een kleine instelpotentiometer P3, waarmee men de toleranties van de weerstanden (en de inwendige toleranties van het IC) kan compenseren. De frequentie van het signaal wordt bepaald door de gelijkspanning op pen 8 van het IC. Deze ingang is aangesloten op een spanningsdeler, samengesteld uit de weerstand R1, de potentiometer P2 en de instelpotentiometer P1. Door het verdraaien van de loper van P2 kan men de spanning op pen 8 variëren tussen 5 en 9 V, hetgeen met de gekozen waarde voor C2 overeen komt met een frequentie-bereik van 20Hz tot 16 kHz.

De in het IC aanwezige driehoek naar sinus omzetter moet extern op minimale vervorming worden afgeregeld. Vandaar de twee instelpotentiometers P4 en P5, waarmee men de vervorming van de geproduceerde sinus onder de 0,5 % kan instellen.

Het IC levert drie uitgangen, namelijk:
- sinus op pen 2;
- driehoek op pen 3;
- vierkant op pen 9.

Deze drie uitgangen zijn aangesloten op de contacten van een 1 x 3 standen schakelaar S1. De geselecteerde golfvorm wordt via het moedercontact van deze schakelaar aangeboden aan het tweede IC. Dit is een normale 741 operationele versterker die geschakeld is als mengversterker. Het signaal wordt aan de trap aangeboden via de potentiometer P6. Met behulp van dit onderdeel kan men de grootte, de amplitude van het uit-

gangssignaal tussen 0 en maximum instellen. Via schakelaar S3 wordt echter ook een instelbare gelijkspanning aan de ingang van de mengtrap aangeboden. De grootte van deze spanning wordt ingesteld door het verdraaien van potentiometer P7. Met behulp van deze schakeling kan men de uitgangsspanning op een gelijkspanning superponeren: men kan bijvoorbeeld een vierkant-golf opwekken, die niet symmetrisch ten opzichte van de massa verloopt, maar tussen de grenzen 0 en +4 V. Dit is een zeer handige functie, want op deze manier is het mogelijk het als voorbeeld behandelde signaal te gebruiken voor het rechtstreeks aansturen van digitale TTL IC's.
Heeft men deze offset-mogelijkheid niet nodig, dan kan men schakelaar S3 openen waardoor de operationele versterker als eenvoudige niet mengende versterker gaat opereren.
De uitgangsspanningen verlopen dan symmetrisch ten opzichte van de massa en kunnen dan voor test-werkzaamheden in analoge schakelingen worden ingezet.

De schakeling wordt gevoed uit twee batterijtjes van 9 V die vanwege het lage stroomverbruik van de elektronica erg lang meegaan.
Vanwege deze batterijvoeding is het echter noodzakelijk de diverse voedings- en instelspanningen goed te ontkoppelen. De inwendige weerstand van batterijen loopt namelijk erg op als de onderdelen verouderen en over deze grote inwendige weerstanden ontstaan dan spanningsvallen die tot allerlei nare effecten aanleiding kunnen geven. Vandaar de condensatoren C1, C3 en C4, die beide voedingen en de frequentiebepalende spanning ontkoppelen naar de massa.

De bouw van de generator

Figuur 4/7.11-2 geeft het kleine printontwerpje van de generator, uit figuur 4/7.11-3 kan men alle gegevens afleiden die nodig zijn om deze print om te zetten in een werkende schakeling. De bouw is volstrekt onkritisch, het enige waar men goed moet op letten is dat er geen fouten worden gemaakt bij het op de print aansluiten van de drie schakelaars en eventueel potentiometers.

Afregelen van de schakeling zonder oscilloscoop

Heeft men geen oscilloscoop ter beschikking dan moet de generator op het gehoor worden afgeregeld.
Men stelt alle potentiometers en trimmers in de middenstand. Men sluit de twee batterijen aan en verbindt de uitgang van de schakeling met een eindversterker.
Regel eerst de uitgangsamplitude op aangenaam gehoor af door middel van P6. Selecteer sinus en schakel de offset uit (schakelaar S3 openen). Regel nu de vervorming op minimaal door het verdraaien van de loper van de trimmer P5. Dit gaat zonder oscilloscoop niet zo gemakkelijk, de enige referentie die men heeft is het gehoor. Regel de trimmer bij tot het geluid zo zuiver mogelijk klinkt.
Draai vervolgens potentiometer P2 in tegen uurwijzers. De frequentie is dan minimaal en men kan deze minimale waarde op de gewenste toon instellen door het verdraaien van P1.
Het instellen van de symmetrie is op het gehoor niet mogelijk. Laat P4 in de middenstand staan, het signaal zal dan weliswaar lichte symmetrie-fouten vertonen,

maar op dit moment is daar toch niets aan te doen!

Afregelen van de schakeling met een oscilloscoop

Kan men zich de gelukkige eigenaar van een oscilloscoop noemen, dan kan men de schakeling heel erg nauwkeurig afregelen. Men kan de vervorming nu minimaliseren door de trimmers P4 en P5 bij te regelen tot een op het oog zuivere sinus op het scherm verschijnt. De symmetrie is nu exact in te stellen door het apparaat op vierkantgolf te zetten en P4 te verdraaien tot de positieve en de negatieve halve periode van het signaal even breed zijn.

Opmerking

Zoals uit de beschrijving van de afregelprocedure volgt, bepaalt de stand van P4 zowel de symmetrie als de vervorming van de sinus! Dit is natuurlijk logisch want een niet symmetrische sinus bevat heel veel harmonischen. Men moet deze afregelingen verschillende malen herhalen en langzaam door het afwisselend verdraaien van de genoemde trimmers het signaal optimaliseren.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/3 W

R 1 = 27 k-Ohm
R 2 = 10 k-Ohm
R 3 = 47 k-Ohm
R 4 = 47 k-Ohm
R 5 = 10 k-Ohm
R 6 = 15 k-Ohm
R 7 = 10 k-Ohm
R 8 = 15 k-Ohm
R 9 = 10 k-Ohm
R 10 = 47 k-Ohm
R 11 = 33 k-Ohm
R 12 = 33 k-Ohm
R 13 = 47 k-Ohm
R 14 = 47 k-Ohm

Potentiometers

P 1 = 1 k-Ohm, trimmer
P 2 = 10 k-Ohm, mono, lineair
P 3 = 1 k-Ohm, trimmer
P 4 = 100 k-Ohm, trimmer
P 5 = 100 k-Ohm, trimmer
P 6 = 100 k-Ohm, mono, log
P 7 = 100 k-Ohm, mono, lineair

Condensatoren

C 1 = 100 nF, MKH
C 2 = 4,7 nF, styroflex (vanwege stabiliteit)
C 3 = 100 nF, MKH
C 4 = 100 nF, MKH

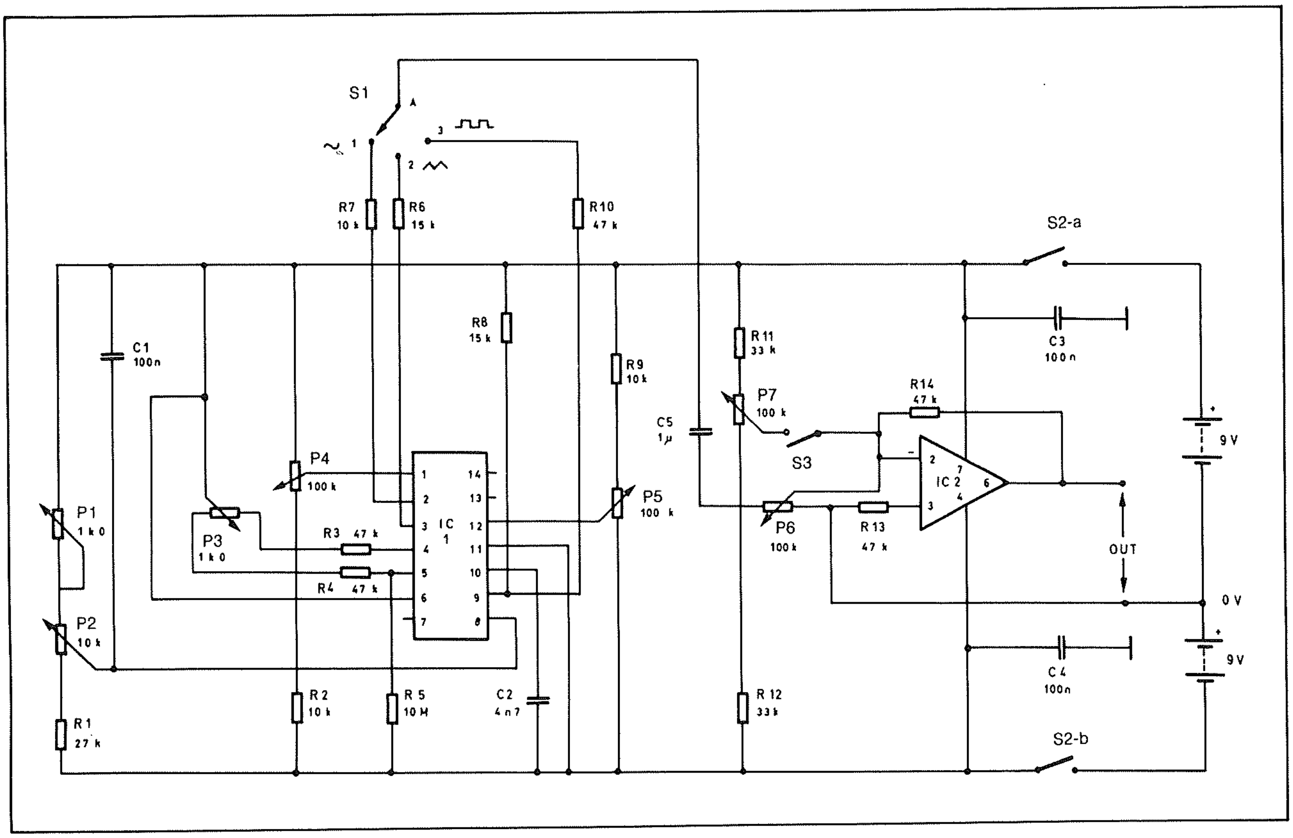
Geïntegreerde schakelingen

IC 1 = 8038
IC 2 = LM 741, mini-dil

Diversen

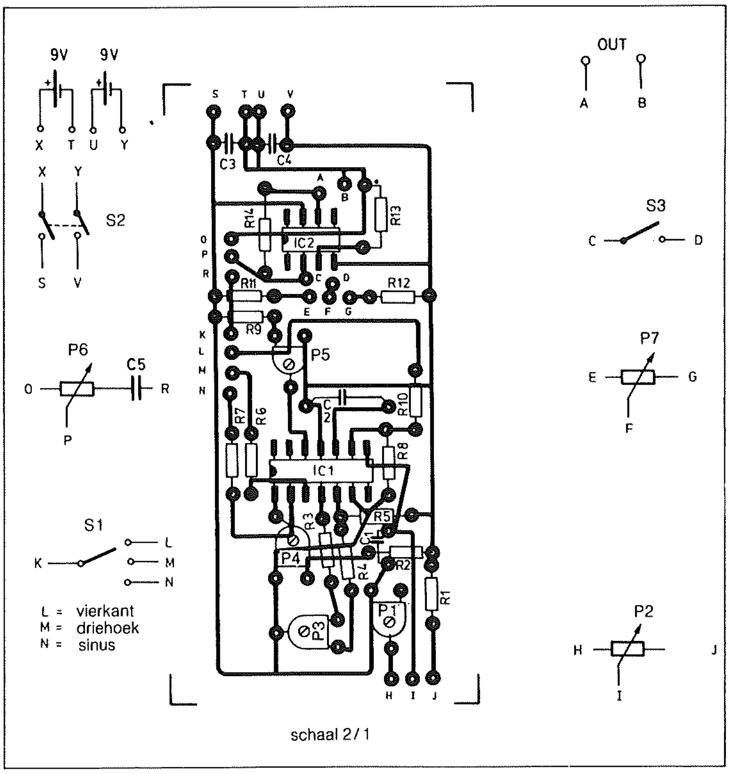
S 1 = 1 x 3 standen draaischakelaar
S 2 = dubbelpolige aan/uit schakelaar
S 3 = enkelpolige aan/uit schakelaar
1 x 14-pens IC-voetje
1 x 8-pens IC-voetje
3 x knop voor 6 mm as
2 x stekerbussen 4 mm
1 x epoxyprintje, ca. 60 x 110 mm^2
1 x kastje, ca. 160 x 80 x 65 mm^3
2 x batterijen, 9 V

7.11 Eenvoudige functiegenerator



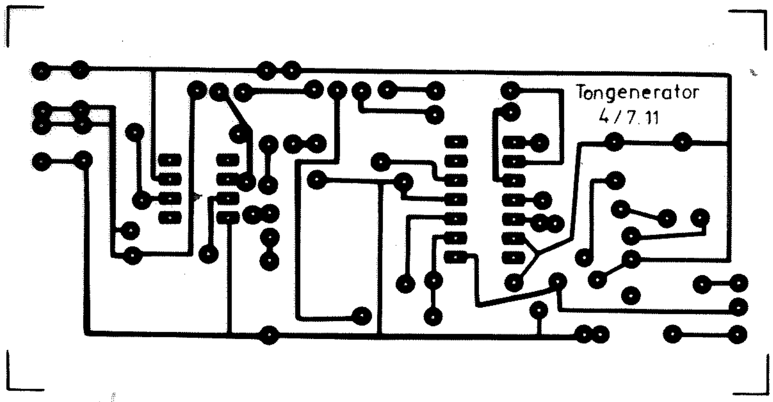
Figuur 4/7.11 -1: Het volledige schema van de eenvoudige functiegenerator.

7.11 Eenvoudige functiegenerator



Figuur 4/7.11 - 3: Bestukkingstekening van de print, met gegevens voor het aansluiten van de schakelaars en potentiometers.

7.11 Eenvoudige functiegenerator



Figuur 4/7.11 -2: Lay-out van de print

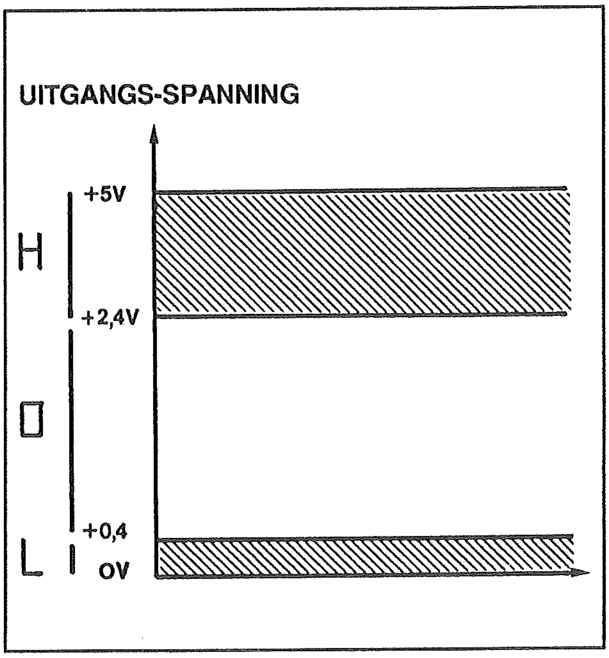
4/7.12
Logische tester

Inleiding
Steeds vaker treft men in audio-, FM-, TV- of videoapparatuur digitale logische schakelingen aan die bijvoorbeeld gebruikt worden in een zendergeheugen, een automatische afstemming, de afstandsbediening of digitale signaalverwerking. Vaak worden in dergelijke schakelingen geïntegreerde schakelingen van de 74-familie toegepast.
Deze uit de computerelektronica afstammende schakelingen zijn zeer populair en dus goedkoop en er bestaan een onvoorstelbaar groot aantal kant-en-klare functies.

Digitale logische schakelingen werken met slechts twee spanningsniveaus. Er staat of helemaal geen spanning op een in- of uitgang, of er staat een positieve spanning van minstens +2,4 V op een aansluiting van zo'n IC.
In het eerste geval spreekt men van een "lage" spanning afgekort tot "L", in het tweede geval van een "hoge" spanning afgekort tot "H".

Foutzoeken in digitale logische schakelingen
Bij het onderzoeken van een verdachte logische schakeling is het eerste punt dat aan de orde komt het onderzoeken van de spanningen op alle in- en uitgangen. TTL-schakelingen zijn namelijk tamelijk kritisch wat betreft het herkennen van een "L" of een "H".

Zoals uit figuur 4/7.12-1 blijkt, mag een "lage" uitgang maximaal +0,4 V voeren en moet een "hoge" uitgang minimaal op +2,4 V staan.
Het gebied daar tussen is absoluut verboden en als men op een pen van een TTL-IC en spanning van bijvoorbeeld +1,2 V meet weet men zeker dat er iets aan de hand is.



Figuur 4/7.12-1: De toegestane "lage" en "hoge" spanningen op de in- en uitgangen van een TTL-schakeling.

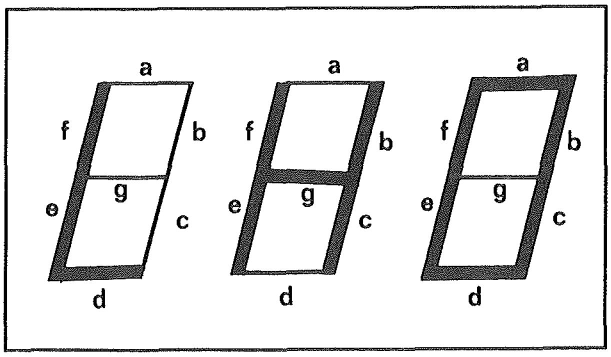
7.12 Logische tester

Nu is het echter niet mogelijk dergelijke metingen uit te voeren met een analoge of digitale universeelmeter. Digitale schakelingen kunnen statisch werken, waarbij er op alle in- en uitgangen constante "L" of "H" signalen staan. Maar het is zeer waarschijnlijk dat de schakelingen ook pulsen verwerken, signalen die snel heen en weer schakelen tussen "L" en "H" en vice versa. Een universeelmeter kan deze snelle niveauwisselingen uiteraard niet volgen. Het resultaat is dat de meter een gemiddelde spanning aanwijst.
Meet men op een pen van een TTL-IC een spanning van +1,2 V, dan kan dat inderdaad betekenen dat er iets mis is met het IC, maar het zou net zo goed kunnen zijn dat er op deze pen een volledig correcte pulsvormige spanning staat!
In feite is de enige manier om TTL-schakelingen na te meten het gebruik maken van een oscilloscoop. Dan ziet men immers onmiddellijk op het scherm of er een ontoelaatbare gelijkspanning of een goede pulsspanning op een pen staat.

Logische tester als goedkoop alternatief
Oscilloscopen zijn echter duur en zeker voor de doe-het-zelver, die maar af en toe een apparaat zal repareren is de investering in zo'n instrument een zware aderlating.

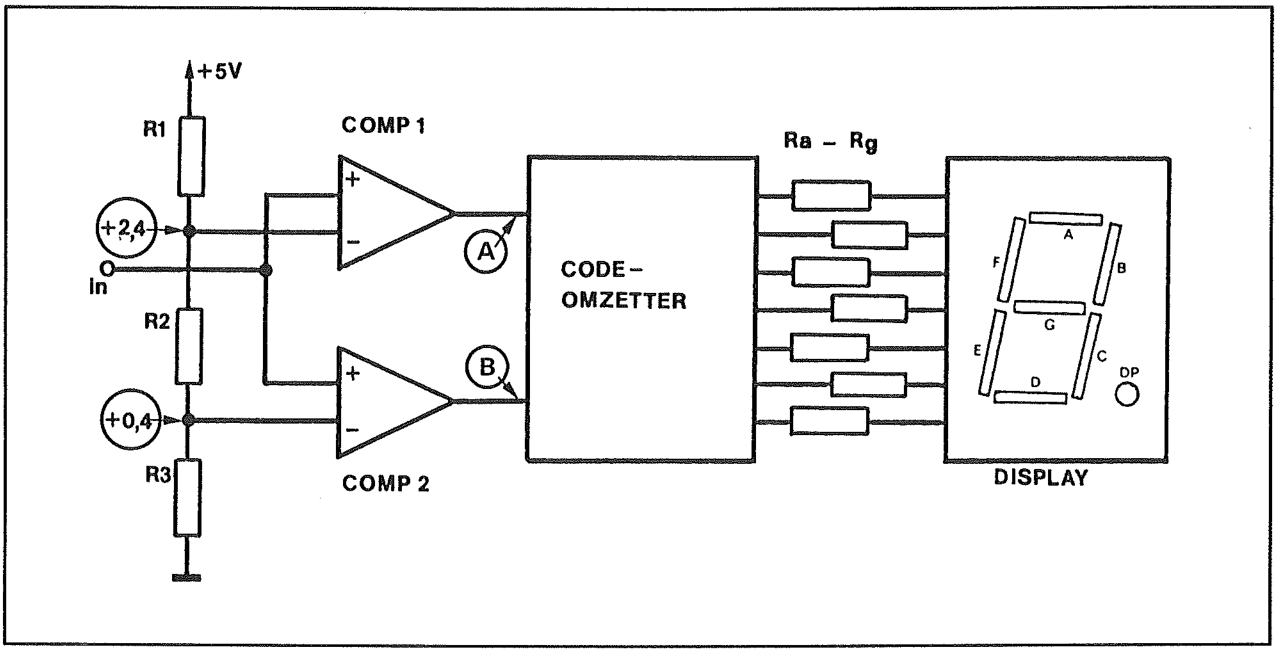
Er bestaat echter een zeer goedkoop alternatief dat bovendien veel handiger in het gebruik is! Met een kleine logische tester die ingebouwd kan worden in een in de hand te houden meetpen, kan men alle pennetjes van een TTL-IC aftasten. In de tester is een zevensegments uitlezing aangebracht, die de grootte van de gemeten spanning onmiddellijk onder de vorm van de gestandaardiseerde symbolen "L", "0" en "H" zichtbaar maakt. Men moet dus niet steeds heen en weer kijken tussen het IC en een meetinstrument, maar kan de blik constant op de pennen van het IC gericht houden. Dit voorkomt een heleboel kortsluitingen door een van de pennetjes afglijdende meetstift!
Een extra voordeel van zo'n digitale tester is dat het apparaatje traagheidsloos werkt en bij het meten op een pen waarop een pulsvormige spanning staat snel heen en weer schakelt tussen de symbolen "L" en "H". Door de traagheid van het oog ontstaat een nieuw symbool, namelijk een omgekeerde A.

In figuur 4/7.12-2 zijn de vier mogelijke indicaties samengevat:
- "L" duidt op een spanning die lager is dan +0,4 V, een goed "laag" niveau;
- "0" staat voor een spanning die ligt tussen de grenzen +0,4 en +2,4 V, een verboden waarde die er op wijst dat er iets mis is met de schakeling;
- "H" geeft aan dat de spanning groter is dan +2,4 V en dat er dus een goed "hoog" signaal op de pen staat;
- "ᗺ" wil zeggen dat op de pen een dynamisch signaal staat dat heen en weer springt tussen "L" en "H" en vice versa.



Figuur 4/7.12-2: De vier symbolen die op het display van de logische tester verschijnen en alle noodzakelijke informatie geven over de aard van de spanning op het testpunt.

7.12 Logische tester



Figuur 4/7.12-3: Het blokschema van de logische tester.

Blokschema
Het blokschema van de logische tester is getekend in figuur 4/7.12-3.

Het zal duidelijk zijn dat een systeem moet worden ingebouwd dat in staat is te herkennen of de meetspanning onder, boven of tussen de twee kritische waarden van +0,4 en +2,4 V ligt.
Daarvoor zorgen de twee comparatoren COMP1 en COMP2, die de ingangsspanning vergelijken met twee drempelspanningen die door de spanningsdeler R1, R2 en R3 precies op de genoemde waarden zijn ingesteld.

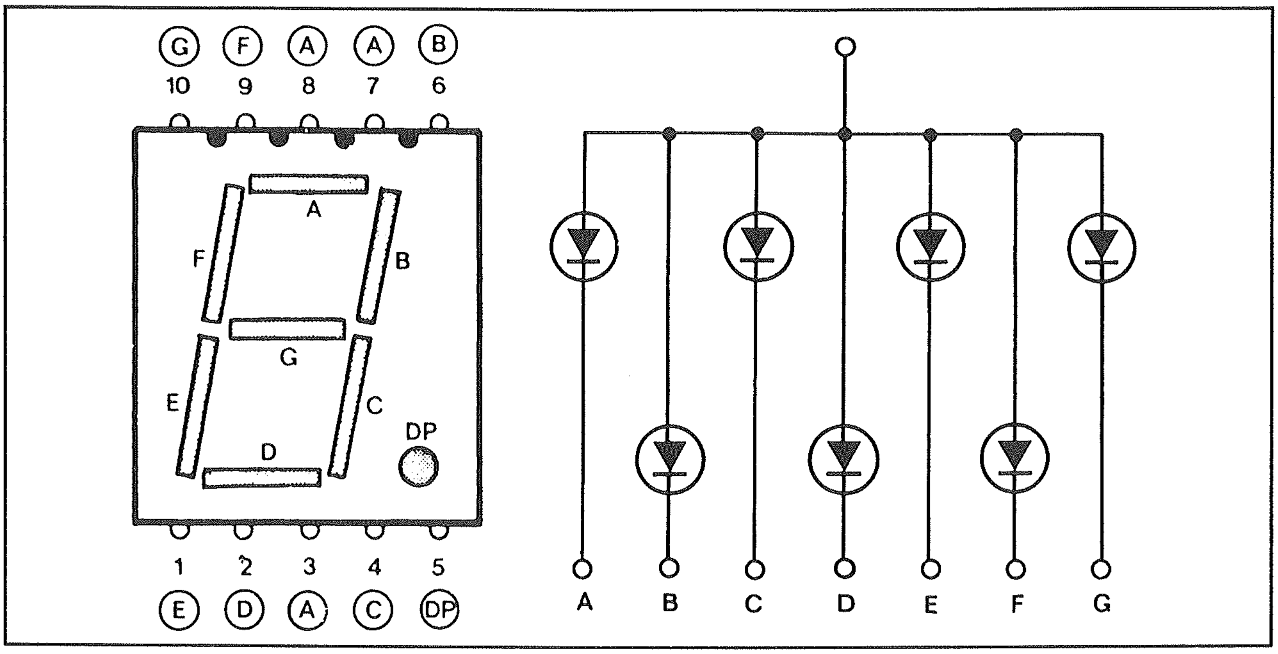
De uitgang van een comparator is "laag" als de ingangsspanning kleiner is dan de drempelwaarde van de schakeling. Als de ingangsspanning dus nul is, zullen beide schakelingen "lage" signalen leveren op de punten (A) en (B). Als de spanning op de ingang groter wordt dan +0,4 V wordt de ingangsspanning van de onderste comparator groter dan de drempel en wordt zijn uitgang (B) "hoog". Als de ingangsspanning groter wordt dan +2,4 V zal ook de bovenste comparator geactiveerd worden, zodat zowel (A) als (B) "hoog" worden.

Op deze eenvoudige manier heeft men drie situaties op één punt (de ingang) omgezet in drie duidelijk van elkaar te onderscheiden codes op twee uitgangen (A) en (B).

De code-omzetter, die gestuurd wordt uit de twee comparatoruitgangen, zal ervoor zorgen dat voor iedere combinatie op (A) en (B) de juiste segmenten van het display worden aangestuurd om de symbolen "L", "0" of "H" zichtbaar te maken.

Het display
Het hart van de tester is duidelijk het zevensegments display. Laat ons dat dus eerst eens bekijken!

7.12 Logische tester



Figuur 4/7.12-4: Interne opbouw, codering en aansluitgegevens van het in deze schakeling gebruikte common anode display.

Zoals uit figuur 4/7.12-4 blijkt bestaat zo'n onderdeel uit zeven lichtgevende dioden (LED's) die in een specifieke geometrie in de behuizing zijn opgenomen. Iedere LED belicht een staafvormig segmentje, de zeven segmenten vormen het cijfer acht. Door de juiste LED's aan te sturen kan men alle cijfers en de letters A, b, C, d, E en F zichtbaar maken. De segmenten zijn gecodeerd met de letters a tot en met g. Elektrisch bekeken zijn de anodes van alle LED's parallel geschakeld. Deze gemeenschappelijke lijn staat ter beschikking op de pennen 3 en 8 van de behuizing. Vandaar dat men spreekt van "common anode display", iets waar men goed op moet letten want er bestaan ook "common kathode display's" waarbij alle LED-kathoden parallel zijn geschakeld! De kathoden zijn bij dit "CA"-display individueel beschikbaar. De gemeenschappelijke anodelijn wordt met de +5 V voeding verbonden, een segment licht op als men de kathode van de betreffende LED door middel van een serieweerstand met de massa verbindt.

Uit de tabel van figuur 4/7.12-5, waarin grafisch is voorgesteld welke segmenten moeten worden aangestuurd voor het vormen van de symbolen "L", "0" en "H", kan men enige interessante conclusies trekken. Zo blijkt dat de segmenten e en f steeds branden. Deze LED's moeten dus niet uit de code-omzetter gestuurd worden, maar kunnen rechtstreeks via serieweerstanden met de massa verbonden worden. Verder is duidelijk dat de segmenten b en c of samen gedoofd zijn of samen branden. Deze twee LED's kunnen dus uit één besturingslijn gevoed worden.

Samenvattend kan men stellen dat de code-omzetter slechts vier signalen moet genereren uit de (A) en (B) uitgangen van de comparatoren, namelijk signalen voor het aansturen van de segmenten a, b/c, d en g.

7.12 Logische tester

SYMBOOL	A	B	C	D	E	F	G
L				●	●	●	
O	●	●	●	●	●	●	
H		●	●		●	●	●

Figuur 4/7.12-5: Uit deze tabel kan men afleiden welke segmenten aangestuurd moeten worden voor het weergeven van de drie gebruikte symbolen.

Het volledige schema

Het volledig uitgewerkte praktische schema van de logische tester is getekend in figuur 4/7.12-6.

De twee comparatoren zijn uitgevoerd met LM311 IC's. Dat zijn speciale comparatoren, die intern zijn voorzien van een uitgangstransistor. Deze transistor is zonder meer in staat de vrij grote stroom van een segment af te voeren naar de massa. Dat spaart alweer enige buffers uit! De twee schakelingen worden ingesteld met behulp van de spanningsdeler R2, R3 en R4. Deze drie weerstanden zijn zo gekozen dat op de knooppunten spanningen ontstaan die binnen redelijke grenzen gelijk zijn aan de twee gewenste drempelwaarden van +0,4 en +2,4 V. De ingangsspanning wordt via een serieweerstand R1 aan de twee positieve ingangen van de comparatoren aangeboden. Deze weerstand beschermt de schakeling als men per ongeluk met de pen van de tester een punt zou aanraken waarop een hoge spanning staat.
De code-omzetter is samengesteld uit drie NAND-poorten uit een TTL 7400 IC. Twee poorten, a en b, zijn als inverter geschakeld, de derde c voert een logische bewerking uit op de signalen (B) en (C). De segmenten van het display Dy1 zijn via serieweerstanden van 220 Ω verbonden met de punten (A), (C), (D) en (E).

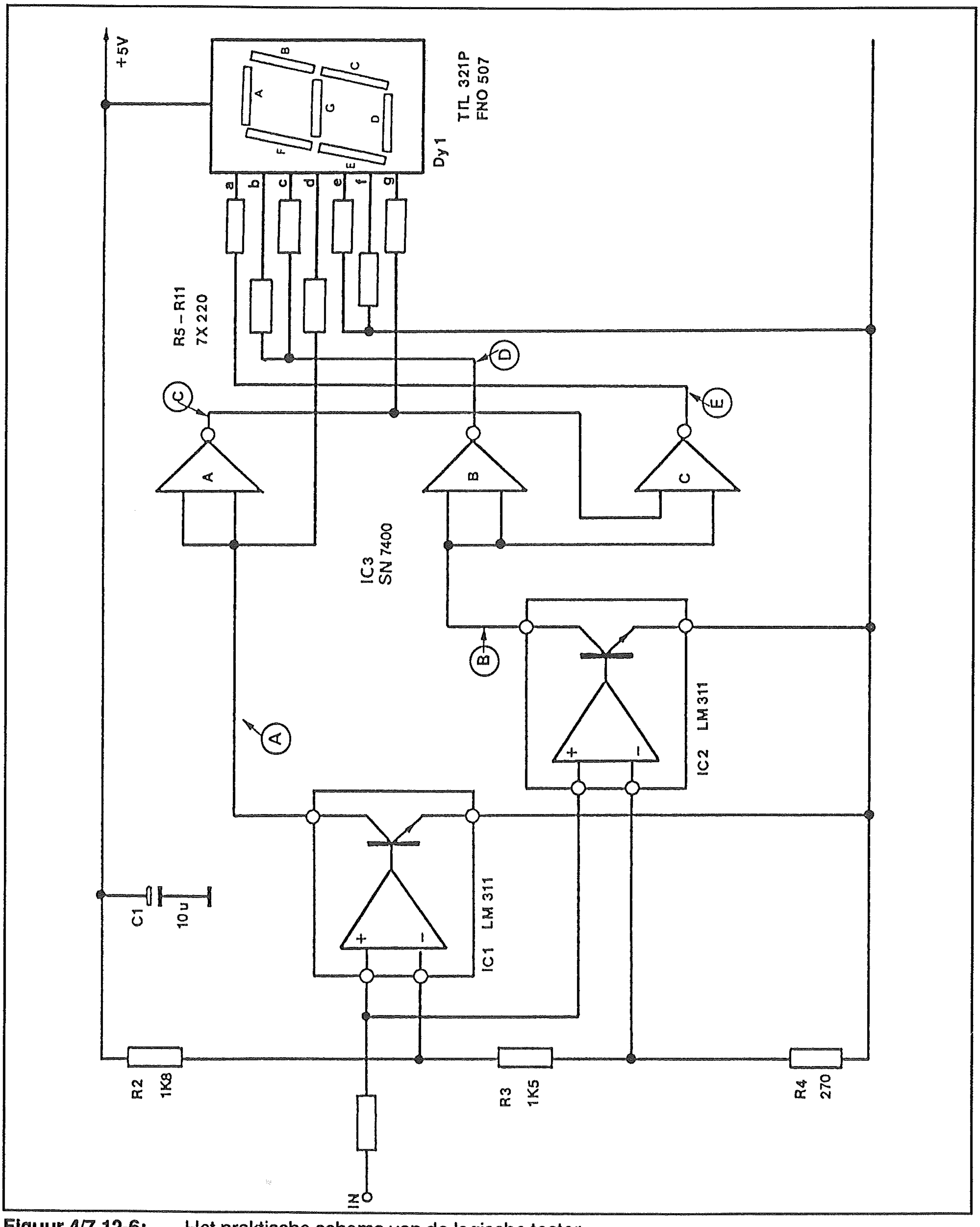
Het aansturen van de segmenten

De code-omzetter werkt dus met NAND-poorten. De werking van zo'n schakeling wordt toegelicht aan de hand van de waarheidstabel van figuur 4/7.12-7.

Uit deze tabel blijkt dat de uitgang (Q) dan en slechts dan "L" wordt als beide ingangen "H" zijn.
Aan de hand van deze wetenschap kan men de werking van de code-omzetter doorgronden.

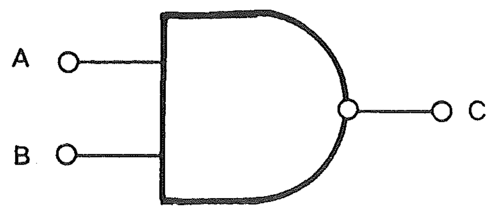
In de tabel van figuur 4/7.12-8 is de logische waarde van de signalen (A), (B), (C), (D) en (E) ingevuld voor ingangsspanningen van respectievelijk kleiner dan +0,4 V (L), tussen +0,4 en +2,4 V (0) en groter dan +2,4 V (H). Bovendien is aangegeven welke segmenten uit welke signalen gestuurd worden.

7.12 Logische tester



Figuur 4/7.12-6: Het praktische schema van de logische tester.

7.12 Logische tester



A	B	C
L	L	H
H	L	H
L	H	H
H	H	L

Figuur 4/7.12-7: De waarheidstabel van een NAND-poort.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W:

R1	=	1	kΩ
R2	=	1,8	kΩ
R3	=	1,5	kΩ
R4	=	270	Ω
R5 t.e.m. R11	=	220	Ω

Condensator:

C1 = 10 μF 16 V elco

Halfgeleiders:

IC1,IC2	=	LM311, comparator
IC3	=	7400, 4xNAND
Dy1	=	common anode FND507, TIL321P

Diversen:

2 x IC-voetje, 8-pens
1 x IC-voetje, 14-pens
3 x printsoldeerlipjes
1 x TEKO meetprobe kastje LP2
50 cm tweeaderig soepel snoer
2 x miniatuur krokodilklemmen

De bouw van de tester

De print van de logische tester, getekend in figuur 4/7.12-9, is speciaal ontwikkeld voor inbouw in een TEKO LP2 kastje.
Dit kastje is ideaal voor dit soort toepassingen.
Het is gemakkelijk in de hand te houden, er is een opening voorzien voor het inbouwen van display's en de voorzijde is standaard voorzien van een stevige en puntige meetpen.
De onderdelen worden naar hun plaats verwezen aan de hand van de componentenopstelling van figuur 4/7.12-10.
Let op de draadbrug onder de weerstanden R7 en R8! Let er verder op dat de IC's IC1 en IC2 hun identificatienokje rechts hebben, maar dat dit nokje bij IC3 naar links wijst.
Het volledig gemonteerde prototype wordt voorgesteld in de foto van figuur 4/7.12-11.
Figuur 4/7.12-12 geeft tot slot een indruk van hoe het printje in de behuizing kan worden gemonteerd. De ingang wordt verbonden met de meetpen van het kastje, de twee overige aansluitingen kunnen via een tweeaderig snoertje en de rechthoekige uitsparing rechts naar buiten gebracht worden.
Aan de vrije draadeinden kan men twee miniatuur krokodilklemmetjes solderen, zoals bijvoorbeeld de "mini-clips" van Hirschmann.
Nadat alles zorgvuldig is gecontroleerd kan men het grote gat in de bovenzijde van het kastje opvullen met een op maat gezaagd stukje transparant rood plexiglas.

7.12 Logische tester

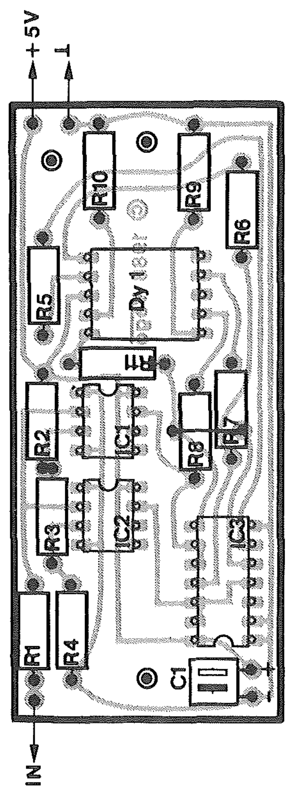
SEGMENTEN	d		g	b,c	a
SYMBOLEN \ SIGNALEN	A	B	C	D	E
L	L	L	H	H	H
0	L	H	H	L	L
H	H	H	L	L	H

Figuur 4/7.12-8: Een overzicht van de logische werking van de code-omzetter.

Er ontstaat dan een zeer fraai en professioneel ogend meetinstrumentje!

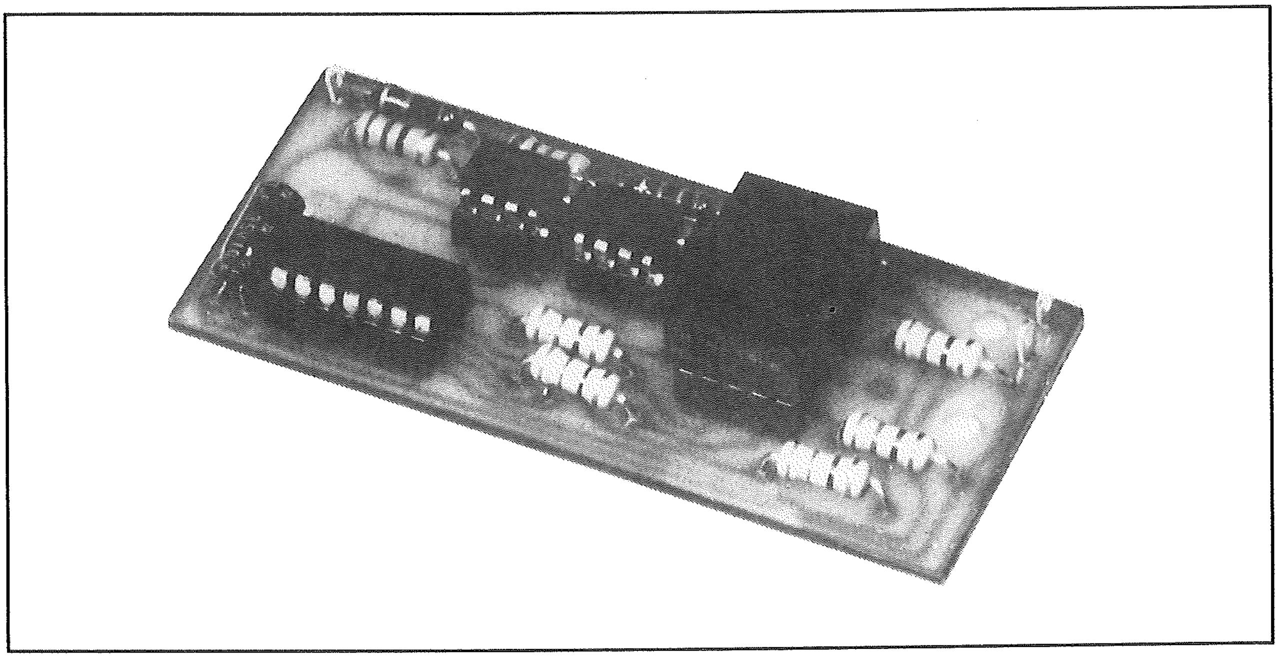
De tester in de praktijk

De tester moet gevoed worden uit een spanning van +5 V. Daarvoor kan men een externe voeding gebruiken, maar in de meeste gevallen kan men deze spanning aftakken van de interne voeding van het apparaat waarin gemeten wordt. Als daar immers TTL-schakelingen in gebruikt worden, dan moet er ook een +5 V voedingsspanning aanwezig zijn! Let er echter op dat men niet per ongeluk de voedingsaansluiting met een hogere spanning verbindt! De SN7400 gaat dan gegarandeerd stuk! Gebruikt men een externe voeding, dan mag men niet vergeten de massa van deze voeding te verbinden met de massa van het apparaat waarin gemeten gaat worden. Nadien kan men met de meetpen van de probe een voor een de pennetjes van een verdacht TTL-IC aanraken en ziet men onmiddellijk wat voor soort spanning aanwezig is.

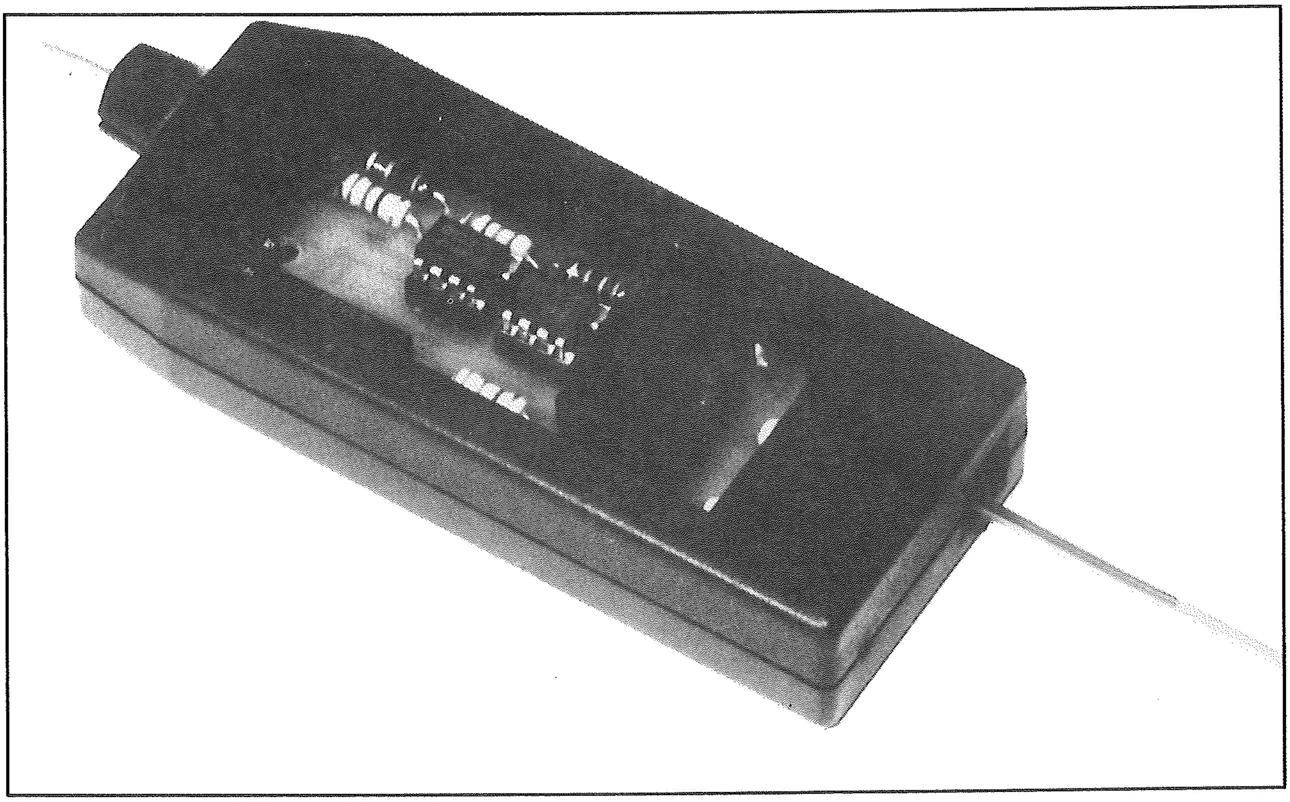


Figuur 4/7.12-10: De componentenopstelling.

7.12 Logische tester



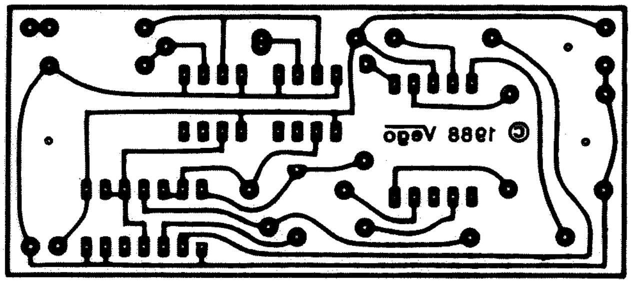
Figuur 4/7.12-11: Het gemonteerde prototype.



Figuur 4/7.12-12: De tester ingebouwd in de speciale TEKO behuizing.

7.12 Logische tester

7.12 Logische tester



Figuur 4/7.12-9: De print van de schakeling.

4/7.13

Eenvoudige signaalvolger

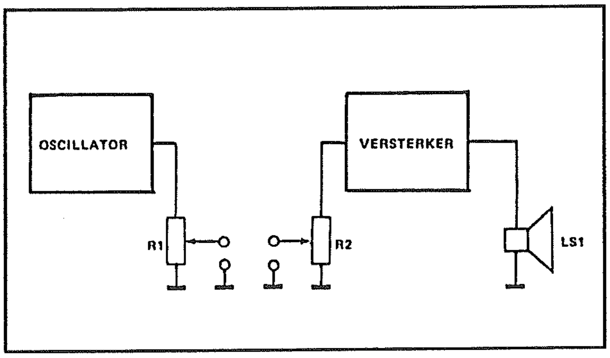
Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een handig en goedkoop meetapparaatje beschreven, dat voor iedere doe het zelver onmisbaar is.

Zoals bekend worden fouten in apparaten opgespoord door de weg te volgen die het signaal door de verschillende blokken of trappen van de schakeling aflegt. Als er op een bepaald punt iets vreemds met het signaal gebeurt heeft men de trap gevonden waarin het defect aanwezig is en kan men zich vervolgens beperken tot het gedetailleerd onderzoeken van de schakelingen in deze trap.

Voor deze procedure, die bekend staat onder de naam "signaalvolgen" moet men dus een toongenerator en een versterker hebben. De toongenerator wekt het testsignaal op, de versterker pikt dit op de verschillende punten in de schakeling op en maakt het hoorbaar in een luidsprekertje. Een signaalgever en -volger, ook bekend onder de engelse benaming "signaltracer", bestaat dus steeds, zoals getekend in het blokschema van figuur 4/7.13-1, uit twee onafhankelijke schakelingetjes.

De in dit hoofdstuk gepresenteerde schakeling bevat een signaalgever die een vierkantgolfspanning met een frequentie van 1 kHz opwekt. Een vierkantgolf is een ideaal signaal voor dit soort toepassingen. Zo'n signaal bevat namelijk een heleboel harmonischen, sinusjes met veelvouden van de basisfrequentie. Op deze manier kan men het apparaatje ook gebruiken in middenfrequent versterkers van AM-radio's. De uitgangsspanning van de generator is in twee bereiken instelbaar tussen 0 en 150 mV en tussen 0 en 1,5 V.



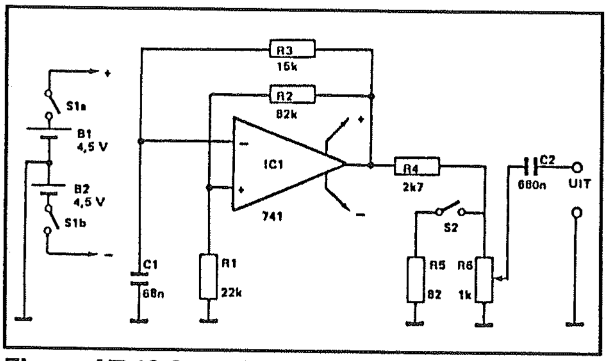
Figuur 4/7.13-1: Het blokschema van de schakeling.

De versterker heeft een in twee bereiken regelbare versterking en stuurt een 8 Ω luidsprekertje met een vermogen van 1 W. Letterlijk alle onderdelen kunnen op de print worden ondergebracht, zodat de nabouw bijzonder eenvoudig is. Deze print kan, samen met de luidspreker en twee platte batterijen van 4,5 V, worden ondergebracht in een P-4 kastje van Teko. Er kan dan een zeer professioneel uitziend apparaatje ontstaan! Wie de nodige aandacht besteed aan de afwerking van de frontplaat zou bijvoorbeeld het resultaat van figuur 4/7.13-2 kunnen krijgen!

7.13 Eenvoudige signaalvolger



Figuur 4/7.13-2: Het proto-type van de signal-tracer werd keurig afgewerkt in een Teko kastje.



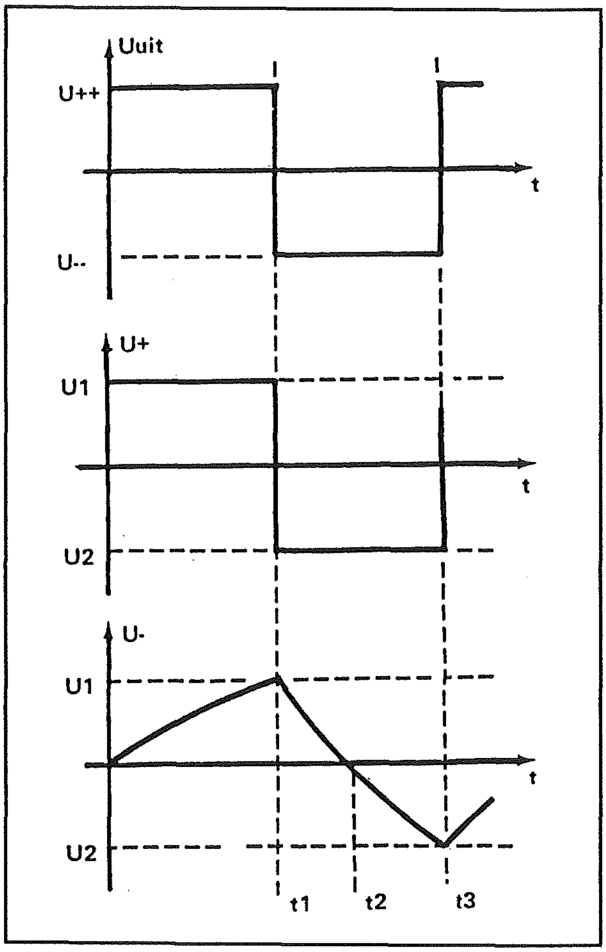
Figuur 4/7.13-3: Het praktische schema van de signaalgever.

Praktisch schema van de toongenerator
Het volledige schema van de signaalgever is getekend in figuur 4/7.13-3.

De schakeling is opgebouwd rond een operationele versterker van het type 741. Dit IC werkt als astabiele vierkantgolfmultivibrator. Dat is een gevolg van de dubbele terugkoppeling van de uitgang naar de twee ingangen. De inverterende ingang is aangesloten op het knooppunt van een integrerende terugkoppeling R3/C1. De niet-inverterende ingang is verbonden

7.13 Eenvoudige signaalvolger

met het knooppunt van een resistieve terugkoppeling R2/R1. Wat deze twee terugkoppelingen voor invloed hebben blijkt uit de grafieken van figuur 4/7.13-4.



Figuur 4/7.13-4: De werking van de vierkantgolf-generator grafisch toegelicht.

Stel dat de batterijen van + en -4,5 V worden aangesloten. De condensator C1 is ontladen, de inverterende ingang staat dus op 0 V. Stel verder dat de uitgang op een positieve spanning U++ staat. Deze spanning wordt teruggekoppeld naar de niet-inverterende ingang, zodat dit punt ook op een positieve spanning U1 staat, die kleiner is dan U++.

Het blijkt nu dat de stelling klopt! Omdat de niet-inverterende ingang positiever is dan de inverterende, zal de uitgang van de op-amp vastlopen tegen de positieve voedingsspanning, dus inderdaad op U++ staan!

De condensator C1 gaat zich via weerstand R3 opladen uit de spanning U++. De spanning op de inverterende ingang gaat dus langzaam stijgen. Op tijdstip t1 wordt deze spanning iets groter dan U1. De inverterende ingang wordt nu positiever dan de niet-inverterende ingang. Het gevolg is dat de op-amp omklapt. De uitgang loopt vast tegen de negatieve voedingsspanning en wordt opeens gelijk aan U--. Ook deze spanning wordt via R2/R1 teruggekoppeld naar de niet-inverterende ingang, zodat deze op een spanning U2 komt te staan. U2 is in absolute waarde even groot als U1.
De condensator C1 gaat nu ontladen naar de negatieve uitgangsspanning U--.

Op tijdstip t3 wordt deze ingang iets negatiever dan de niet-inverterende ingang. De schakeling klapt weer om, het proces herhaalt zich.

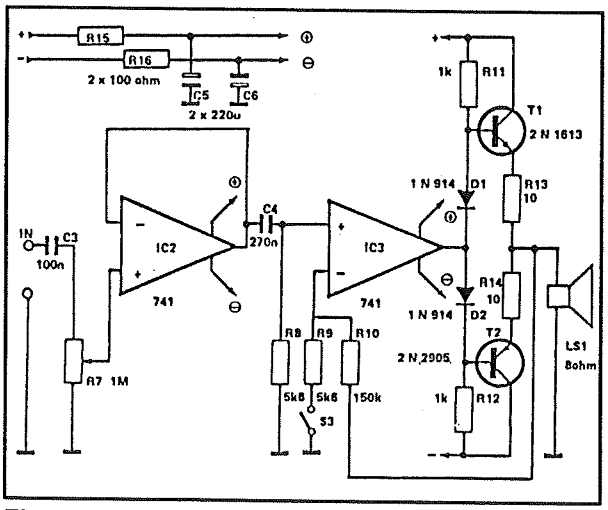
Op de uitgang ontstaat dus een vierkantgolf, waarvan de frequentie wordt bepaald door de laad- en ontlaadtijd van de condensator en door de waarde van de spanningen U1 en U2. De tijdconstante van de integrator R3/C1 en de weerstandsdeler R1/R2 zijn zo berekend dat de frequentie gelijk is aan 1 kHz.

De uitgangsspanning van de op-amp wordt aangeboden aan een spanningsdeler, samengesteld uit de weerstand R4 en de potentiometer R6. Deze onderdelen zijn zo berekend dat er over de potentio-

7.13 Eenvoudige signaalvolger

meter een spanning van 1,5 V valt, zodat de uitgangsspanning op de loper tussen 0 en deze waarde is in te stellen. Sluit men de schakelaar S2, dan wordt een kleine weerstand R5 parallel gezet over de potentiometer.
Hierdoor wordt het spanningsbereik verlaagd tot maximaal 150 mV. De loper van de potentiometer is via de condensator C2 verbonden met de uitgang van de schakeling.

Praktisch schema van de versterker
Het schema van de versterker is getekend in figuur 4/7.13-5.



Figuur 4/7.13-5: Het volledige praktische schema van de versterker.

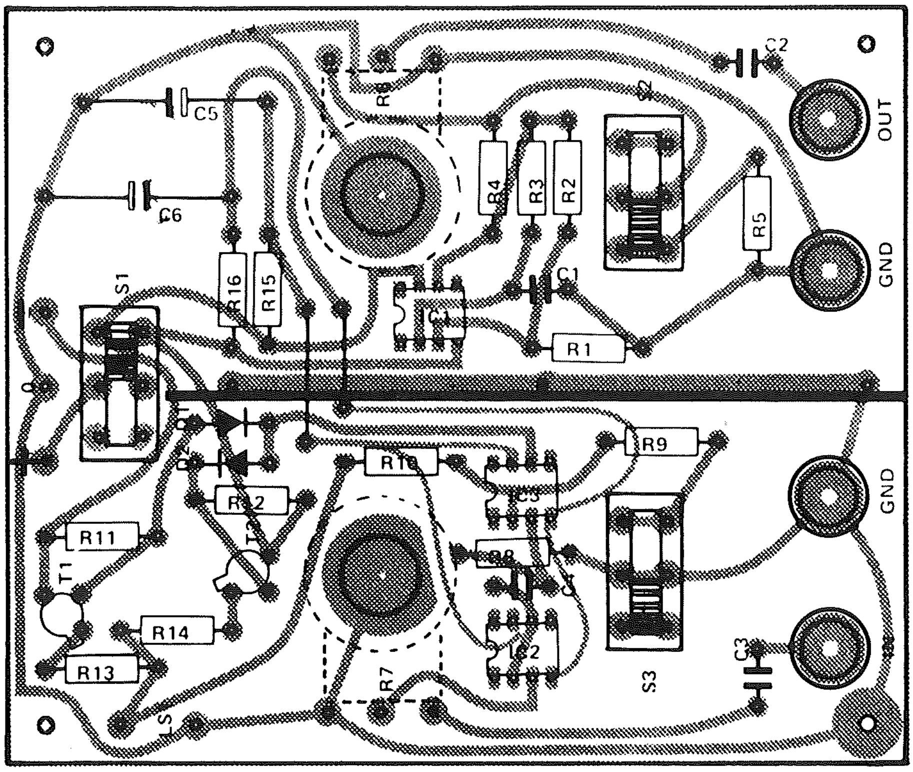
Deze schakeling bestaat uit twee delen, een buffer rond IC2 en een complementair eindtrapje rond IC3, T1 en T2.

Operationele versterker IC2 heeft een galvanische terugkoppeling van de uitgang naar de inverterende ingang. Het gevolg is dat schakeling een zeer hoge ingangsimpedantie krijgt.
Het meetsignaal wordt via condensator C3 aan de potentiometer R7 van 1 MΩ aangeboden. Vanwege de zeer hoge impedantie van de op-amp zal de ingangsimpedantie van de schakeling nu alleen bepaald worden door de waarde van de potentiometer, dus gelijk zijn aan 1 MΩ. Dat is meer dan voldoende om op de meest gevoelige punten van een schakeling te kunnen meten, zonder de werking van deze schakeling te verstoren.

De buffer wordt via C4 en R8 doorgekoppeld naar de ingang van de complementaire eindtrap.
Dat is een standaard versterkerschakeling, waarbij de op-amp de basissignalen levert voor de twee eindtransistoren. Deze worden door middel van de weerstanden R11 en R12 en de dioden D1 en D2 ingesteld.
De terugkoppeling van de uitgang naar de inverterende ingang via de weerstand R10 stabiliseert de schakeling. Als namelijk de uitgangsspanning in rust positief zou willen worden, dan wordt deze positieve spanning teruggekoppeld naar de inverterende ingang. Omdat de niet- inverterende ingang via weerstand R8 met de massa (0 V) verbonden is, zal de op-amp de uitgangstrap meer negatief gaan sturen.
De ongewenste spanningstijging op de uitgang wordt automatisch gecompenseerd.
In principe komt het er dus op neer dat de schakeling het spanningsverschil tussen beide ingangen op nul zal houden, zodat ook de uitgang op nul staat.

Als men de schakelaar S3 sluit wordt de weerstand R9 opgenomen tussen de inverterende ingang en de massa. Hierdoor wordt maar een deel van de uitgangsspanning teruggekoppeld, zodat de versterking van de schakeling evenredig stijgt.

7.13 Eenvoudige signaalvolger



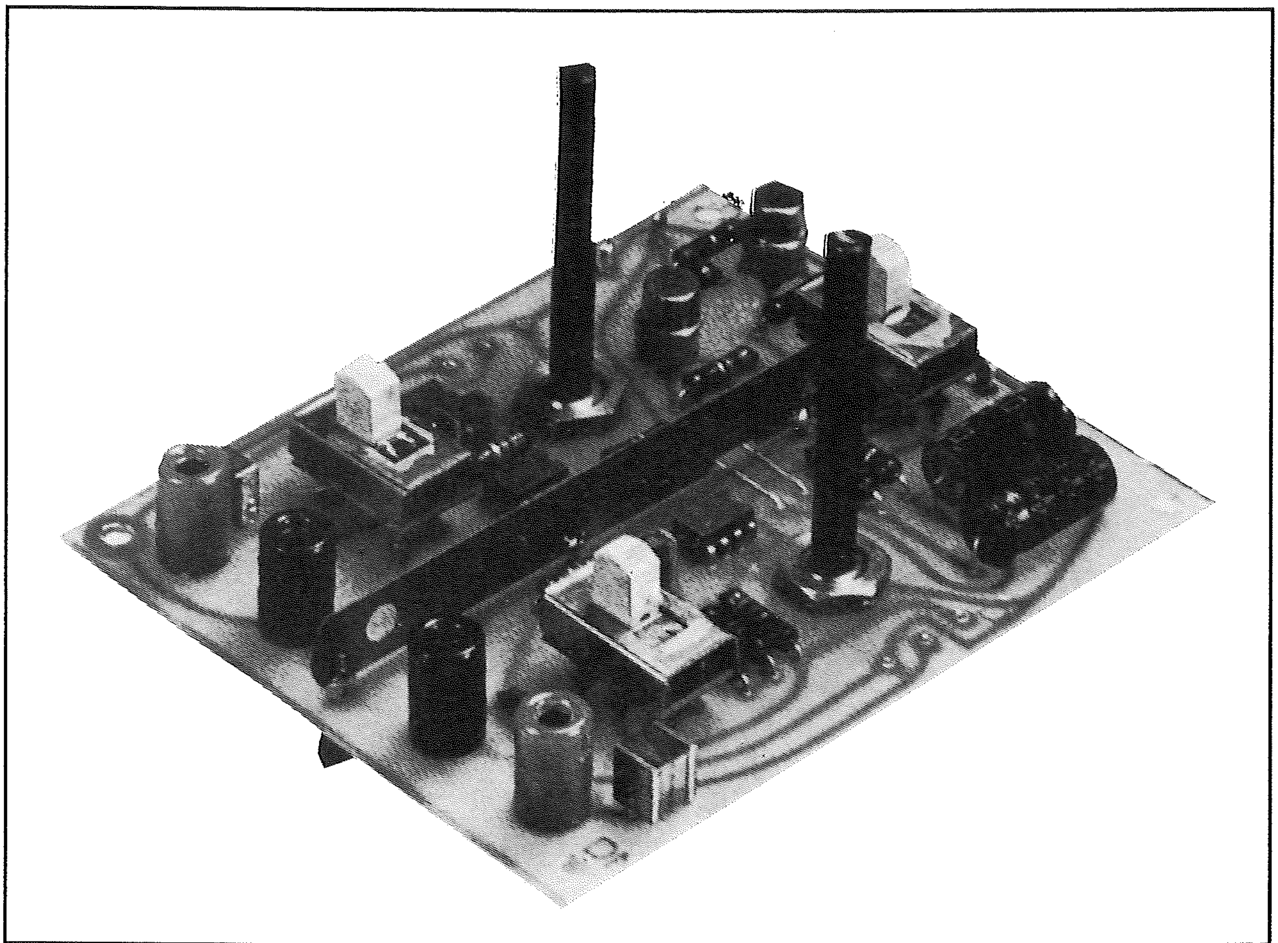
Figuur 4/7.13-7: De componentenopstelling van de print.

Als bijvoorbeeld nu aan de niet-inverterende ingang een signaalspanning van 100 mV verschijnt, dan zal de spanning op de uitgang ongeveer gelijk moeten worden aan 2,5 V om de spanning op de inverterende ingang gelijk te maken aan de spanning op de niet-inverterende ingang.
De versterker versterkt nu dus ongeveer 25 keer.

Vanwege de symmetrische voeding ligt de rustspanning op de uitgang van de versterker op 0 V. De luidspreker kan dus zonder koppelcondensator rechtstreeks met de uitgang van de versterker verbonden worden.

De bouw van de schakeling
De schakeling kan worden opgebouwd op de print van figuur 4/7.13-6 aan de hand van de componentenopstelling van figuur 4/7.13-7.
Zoals uit deze laatste figuur blijkt kunnen alle onderdelen, zelfs potentiometers, schakelaars en in- en uitgangsbussen, op de print worden bevestigd. Een en ander wordt nog duidelijker aan de hand van de foto in figuur 4/7.13-8, die het kompleet gemonteerde proto-type afbeeldt.

7.13 Eenvoudige signaalvolger



Figuur 4/7.13-8: Het proto-type van de schakeling vóór inbouw in de print.

Tussen de generator en de versterker worden, zowel aan de bovenzijde als aan de onderzijde van de print, twee koperen schotjes gesoldeerd.
Deze zorgen ervoor dat het signaal niet inductief of capacitief rechtstreeks via de print wordt doorgekoppeld van generator naar versterker. Let er bij het solderen van het schotje aan de bovenzijde op dat de twee draadbruggetjes niet worden kortgesloten!

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W:

R1	=	22	kΩ
R2	=	82	kΩ
R3	=	15	kΩ
R4	=	2,7	kΩ
R5	=	82	Ω
R8,R9	=	5,6	kΩ
R10	=	150	kΩ
R11,R12	=	1	kΩ
R13,R14	=	10	Ω
R15,R16	=	100	Ω

Potentiometers, lin, mono:

R6	=	1	kΩ
R7	=	1	MΩ

Condensatoren:

C1	=	68	nF	MKH

7.13 Eenvoudige signaalvolger

C2	=	680	nF	MKH 250
C3	=	100	nF	MKH 250
C4	=	270	nF	MKH
C5,C6	=	220	µF	6 V elco

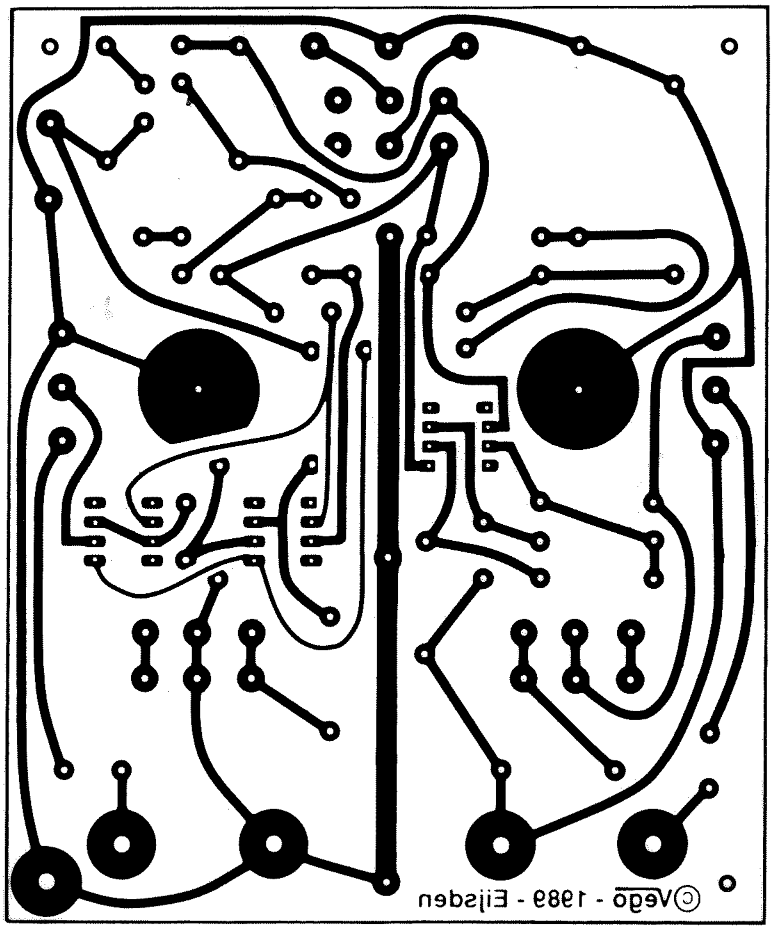
Halfgeleiders:

D1,D2	=	1N4148 of 1N914
T1	=	2N1613
T2	=	2N2905
IC1,IC2,IC3	=	741 of 3140, mini-DIL

Diversen:
3 x schuifschakelaars, tweepolig groot model
1 x luidspreker, 8 Ω, 1 W
4 x 4 mm stekerbusjes, 2 x rood, 2 x zwart
2 x 4,5 V platte batterijen
1 x Teko P-4 kastje
3 x printsoldeerlipjes
3 x IC-voetje, 8-pens
2 x knoppen voor 6 mm as

7.13 Eenvoudige signaalvolger

7.13 Eenvoudige signaalvolger



Figuur 4/7.13-6: De print van de schakeling.

4/7.14

Eenvoudige transistortester

Inleiding
Ondanks de hoge integratiegraad van de moderne apparaten zal men bij het repareren van elektronische schakelingen toch nog vaak geconfronteerd worden met transistoren. Vaak is het zelfs zo, dat transistoren tot de hoofdverdachten behoren.
Denk maar aan de afbuigschakelingen in TV-ontvangers, waar de fout vaak gezocht moet worden in een van de drivertransistoren van de eindtrappen.
Een eenvoudig apparaatje waarmee men de goede werking van een transistor kan controleren is dus een nuttige aanwinst voor de werkbank, waar men vaak zal naar grijpen!

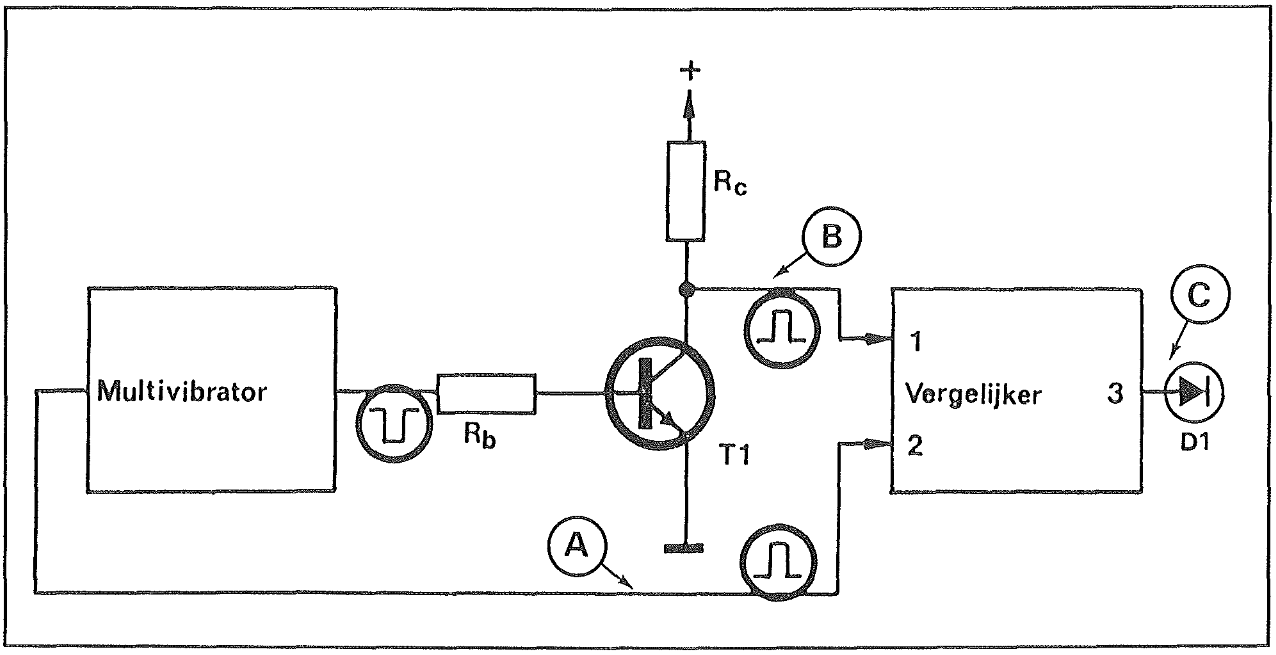
Enig nadeel van de in dit hoofdstuk beschreven tester is dat het niet mogelijk is transistoren in de schakeling te testen. Men moet een verdachte halfgeleider dus eerst uit de print solderen en dan op de tester aansluiten. Maar daar staat tegenover dat de tester zowel bruikbaar is voor PNP als voor NPN transistoren en er zowel laag- als hoogvermogen halfgeleiders mee kunnen worden getest.

Het principe
De in dit hoofdstuk beschreven "eenvoudige transistortester" test de halfgeleiders op een dynamische manier. Er wordt een signaaltje op de basis aangesloten, de halfgeleider krijgt het vriendelijke verzoek dit signaal te versterken. Het basissignaal wordt vergeleken met het signaal op de collector.
Uit deze vergelijking kan men drie verschillende conclusies trekken:
- de halfgeleider werkt goed;
- de collector is kortgesloten naar de massa;
- de spanning op de collector blijft gelijk aan de voedingsspanning, waaruit men kan besluiten dat er een onderbreking zit in de verbinding tussen de collectoraansluiting en de chip of dat de basis-emitter diode het niet meer doet.

Deze drie conclusies worden afgeleid uit de manier waarop een LED'je, een lichtgevende diode, dat in de tester is aangebracht gaat oplichten:
- als de LED continu brandt kan men besluiten dat de transistor goed is;
- knippert de LED met korte lichtflitsjes, dan blijft de collectorspanning constant op de voedingsspanning;
- knippert de LED met langere lichtflitsjes, dat blijft de collectorspanning op de massa staan.

Deze beschrijving geldt bij het testen van NPN-halfgeleiders.
Bij PNP-transistoren moet men de betekenis van de twee knippereffecten omgekeerd interpreteren!

7.14 Eenvoudige transistortester



Figuur 4/7.14-1: Het eenvoudige blokschema van de transistortester.

Het blokschema
Het blokschema van de transistortester is getekend in figuur 4/7.14-1.

De transistor wordt gestuurd uit een blokgolfgenerator, die twee asymmetrische signalen aflevert die heen en weer springen tussen de waarde van de voedingsspanning en de massa. Het verschil tussen beide signalen is dat als het ene signaal positief is het andere gelijk is aan nul en vice versa. De frequentie van deze signalen is ongeveer gelijk aan 2 Hz, er ontstaan dus twee perioden per seconde.

Eén signaal stuurt de basis van de te testen transistor, het andere gaat naar één ingang van een binaire vergelijker.
De basis wordt gestuurd via de basisweerstand R_b. De transistor wordt dus ofwel in sper ofwel in verzadiging gestuurd, zodat het signaal op de collector ook heen en weer zal springen tussen de massa en de voedingsspanning. Omdat de transistor het basissignaal inverteert zal het signaal (B) op de collector precies gelijk zijn aan het signaal (A) van de blokgolfgenerator.

De binaire vergelijker vergelijkt de signalen van de blokgolfgenerator en van de collector. Als beide signalen identiek zijn zal de uitgang van de vergelijker "hoog" zijn. Deze hoge spanning stuurt een LED, deze diode gaat branden als de transistor in orde is. Als echter het signaal op de collector blijft hangen op de voedingsspanning of op de massa zal er een verschil ontstaan tussen de signalen (A) en (B). De binaire vergelijker levert nu een pulsvormige spanning af en de LED gaat knipperen.

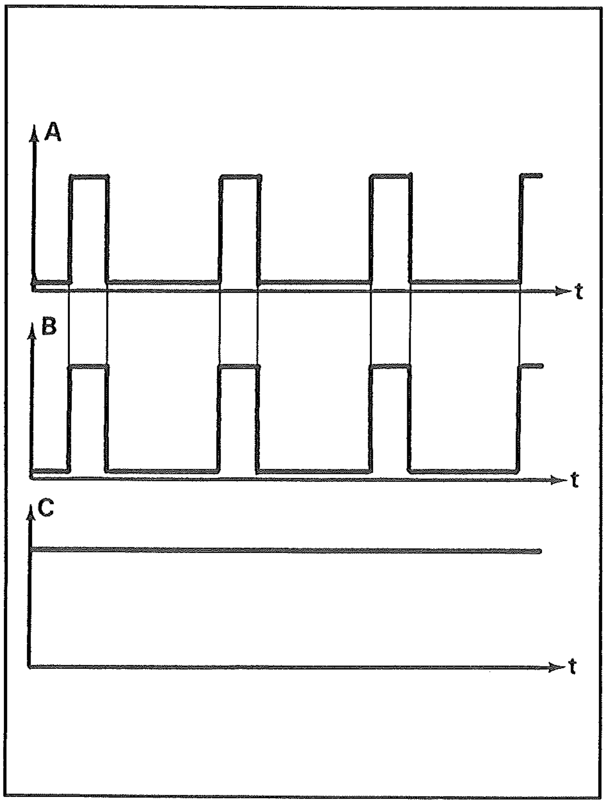
De drie uitgangssignalen
Bij de bespreking van de drie mogelijke uitgangssignalen wordt uitgegaan van het testen van een NPN-halfgeleider. Aan de hand van deze bespreking is het echter zeer eenvoudig om de werking van de schakeling te doorgronden als er een PNP'er wordt aangesloten.

7.14 Eenvoudige transistortester

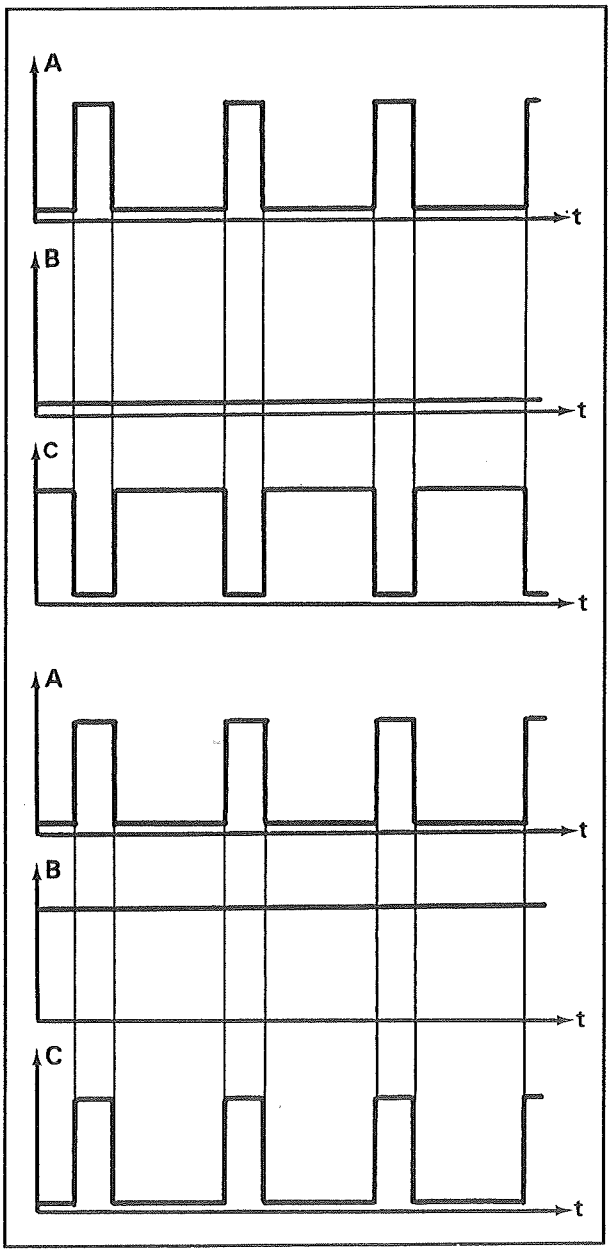
In het kort komt het er op neer dat de interpretaties van de uitgangssignalen inverteren, dus wat bij NPN geldt voor korte lichtflitsjes geldt bij PNP voor brede lichtflitsen.

In figuur 4/7.14-2 is getekend wat er gebeurt als de transistor goed is.
Duidelijk blijkt dat de signalen (A) en (B) volledig identiek zijn. De binaire vergelijker wordt dus steeds gestuurd door twee identieke signalen en het gevolg is dat zijn uitgang continu "hoog" zal zijn. De op de vergelijker aangesloten LED brandt continu.

In figuur 4/7.14-3 zijn echter twee situaties getekend die ontstaan als de transistor een defect vertoont.



Figuur 4/7.14-2: Vergelijking van de spanningen (A), (B) en (C) bij het testen van een goede transistor.



Figuur 4/7.14-3: Het knipperen van de LED verklaard aan de hand van twee voorbeelden van het testen van defecte transistoren.

In de bovenste grafieken blijft de uitgangsspanning (B) op de collector van de transistor op massapotentiaal.
Waarschijnlijk is de halfgeleider doorgebrand, zodat de emitter- en de collectoraansluitingen intern kortgesloten zijn. De

vergelijker zal nu alleen een hoge uitgangsspanning leveren als signaal (A) ook nul is, met als gevolg dat er brede positieve pulsen ontstaan. De LED levert dus lange lichtflitsen, onderbroken door korte gedoofde perioden.

In de onderste grafieken blijft de collectorspanning (B) op het voedingspotentiaal staan. Dat kan verschillende oorzaken hebben zoals:
- een onderbreking in de basisaansluiting;
- een onderbreking in de collectoraansluiting;
- een defecte basisemitter overgang;
- fysische defecten in het halfgeleiderkristal.

Het gevolg is dat de vergelijker nu alleen een hoge spanning opwekt als de spanning (A) ook "hoog" is zodat er korte positieve pulsjes ontstaan. De LED knippert nu met dezelfde frequentie, maar korte lichtflitsen worden onderbroken door lange pauses.

Het praktische schema van de blokgolfgenerator

In figuur 4/7.14-4 is het volledig uitgewerkte praktische schema van de generator en de aansturing van de te testen transistor getekend.

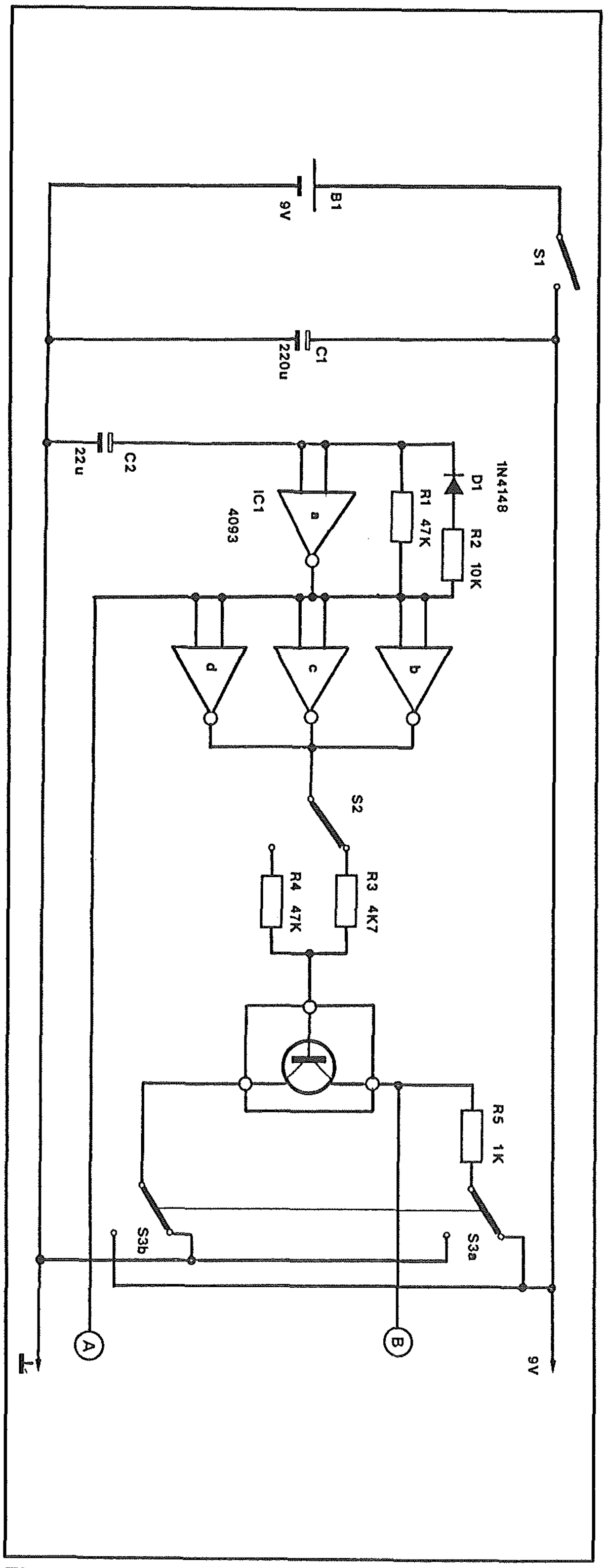
De schakeling wordt gevoed uit een batterijtje B1 van 9 V. Deze spanning wordt via AAN-UIT schakelaar S1 met de elektronica verbonden. Het hart van de generator wordt gevormd door een CMOS-IC van het type CD4093B, een zogenaamde viervoudige NAND-poort met Schmitt-trigger werking. Poort a is de eigenlijke blokgolfgenerator die het signaal (A) voor de vergelijker levert. Dit signaal wordt door middel van de drie overige, parallel geschakelde, poorten b, c en d geïnverteerd en omgezet in het signaal waarmee de basis wordt gestuurd.
Deze parallelschakeling is noodzakelijk omdat CMOS-schakelingen erg weinig stroom kunnen leveren en één poort niet in staat zou zijn voldoende stroom te leveren voor het aansturen van de basis van een zware vermogenstransistor. Bovendien zorgt deze parallelschakeling ervoor dat het signaal op de uitgang echt tussen de massa en de waarde van de voedingsspanning heen en weer springt.

Met schakelaar S2 kan men twee basisstromen selecteren, namelijk 0,2 mA en 2 mA. De grootste stroom wordt gebruikt bij het testen van zware vermogenstransistoren, de kleinste voor alle overige halfgeleiders.

De emitter en de collector van het "device under test" D.U.T. worden verbonden met een dubbele omschakelaar S3. In de getekende stand van deze schakelaar wordt de emitter verbonden met de massa en de collector via de weerstand R5 met de voeding. Deze stand is dus bedoeld voor het testen van NPN-transistoren (emitterpijltje wijst naar buiten). Als men de schakelaar omschakelt komt de emitter aan de voeding en de collector met weerstand aan de massa. In deze stand kan men dus PNP'ers onderzoeken.

Deze voedingsomschakeling van PNP naar NPN is de eenvoudigste manier om een transistortester geschikt te maken voor PNP én NPN. Zoals reeds enige malen opgemerkt, maar dit punt is te belangrijk om niet steeds opnieuw te benadrukken, is het nadeel hiervan dat de interpretatie van de meetgegevens afhankelijk wordt van de stand van de schakelaar!

7.14 Eenvoudige transistortester



Figuur 4/7.14-4: Praktisch schema van generator en van transistorbesturing.

Door op het frontplaatje van het apparaat een klein tabelletje te plakken (zie figuur 4/7.14-13 aan het einde van dit hoofdstuk), waar voor zowel PNP als NPN de betekenis van de knipperende LED wordt vermeld, is dit bezwaar in de praktijk echter gemakkelijk te ondervangen.

De spanning op de collector wordt als signaal (B) aan de binaire vergelijker aangeboden.

De werking van de blokgolfgenerator
Voor wie het naadje van de kous wil weten wordt in deze paragraaf verklaard hoe het komt dat men één Schmitt-trigger poort kan ombouwen tot een blokgolfgenerator.

De bespreking wordt verduidelijkt aan de hand van de grafieken in figuur 4/7.14-5.

In wezen kan men een NAND-poort met Schmitt-trigger ingangen, waarvan beide ingangen parallel geschakeld zijn, beschouwen als een inverter. Als het signaal op de ingang "laag" is, dan zal de uitgang "hoog" zijn en vice versa. Het unieke van de Schmitt-trigger is echter dat het moment waarop de poort omschakelt van de ene naar de andere toestand afhankelijk is van de richting waarin de ingangsspanning varieert. Stijgt de spanning op de ingang van "laag" naar "hoog", dan zal de uitgang omklappen als de spanning op de ingang gelijk wordt aan een bepaalde drempel H_2.
Als echter de spanning op de ingang daalt, dan zal de uitgang naar "hoog" gaan op het moment dat de ingangsspanning gelijk wordt aan een tweede, lagere drempel H_1.
Dank zij deze eigenschap kan men een Schmitt-trigger inverter met slechts één

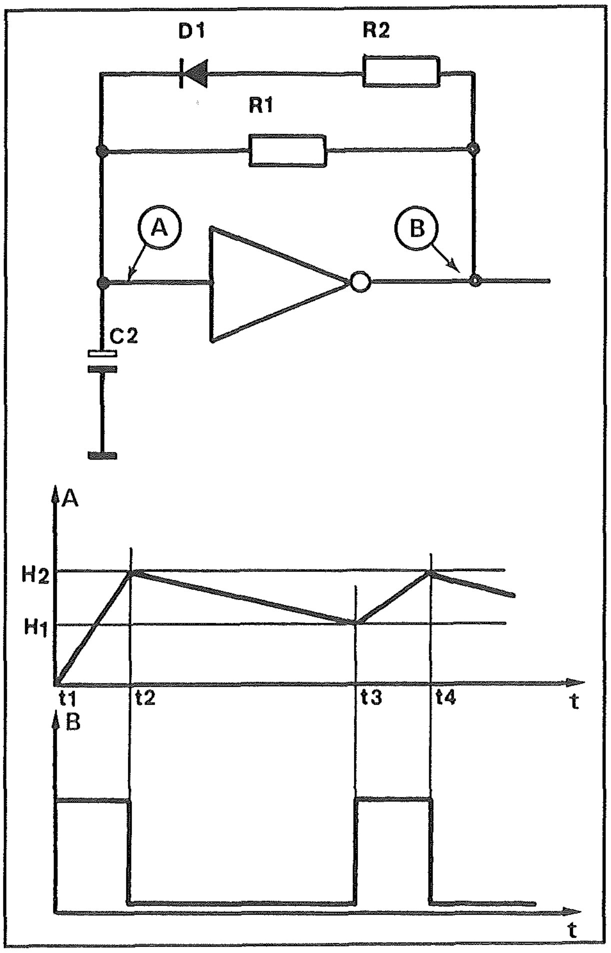
condensator en één weerstand omvormen in een blokgolfgenerator.
Omdat het bij deze toepassing echter noodzakelijk is dat de uitgangsspanning zeer asymmetrisch is, moet men nog een tweede weerstand en een diode toevoegen.

Bij het inschakelen van de voedingsspanning (tijdstip t_1) is de condensator C2 volledig ontladen. De ingangsspanning van de poort is nul, de uitgang zal "hoog" zijn.
De condensator gaat nu opladen uit deze uitgangsspanning via de weerstand R2 en de geleidende diode D1. De condensatorspanning stijgt en op het moment t_2 wordt de spanning gelijk aan de bovenste drempel H_2.
De schakeling klapt om, de uitgang wordt "laag". De condensator gaat nu ontladen via de veel grotere weerstand R1 tot de spanning over het onderdeel op tijdstip t_3 gelijk wordt aan de onderste drempel H_1.
De schakeling klapt weer om, de uitgang wordt "hoog".
Omdat het ontladen van de condensator veel langer duurt dan het laden zal de uitgangsspanning een zeer asymmetrische blokspanning zijn.

De binaire vergelijker

Het praktische schema van de binaire vergelijker is getekend in figuur 4/7.14-6.

De schakeling is opgebouwd uit de vier NOR-poorten die in een CMOS-IC van het type CD4001B zitten.
Deze vier poorten zijn zo met elkaar verbonden dat zij een zogenaamde "EXOR" vormen. De uitgang van poort d zal dan en alleen dan "hoog" zijn, als de twee ingangsspanningen (A) en (B) aan elkaar gelijk zijn.

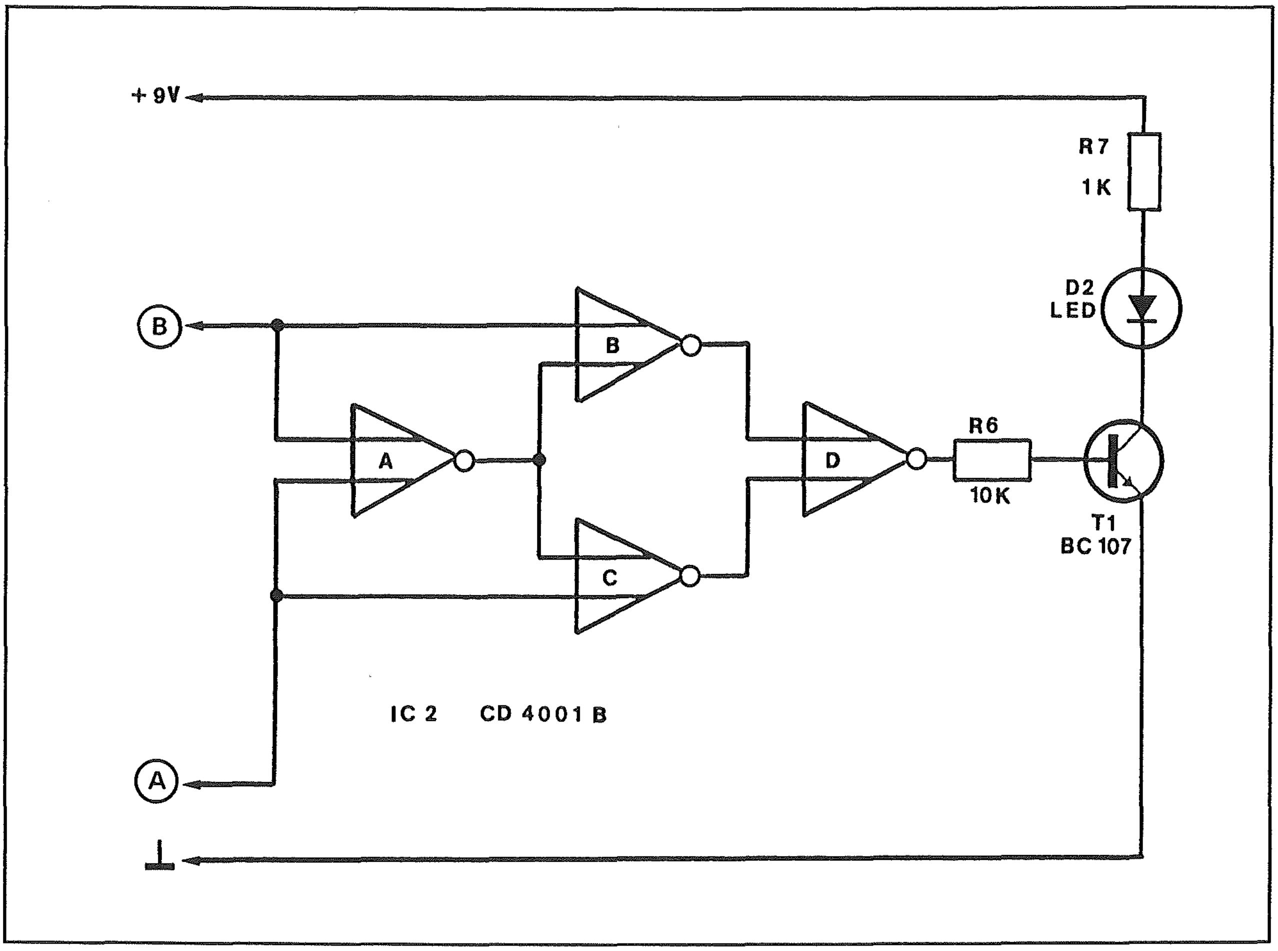


Figuur 4/7.14-5: De werking van de oscillator toegelicht.

De werking van deze schakeling kan men zélf uitdokteren door gebruik te maken van de waarheidstabel van een NOR-poort die gegeven is in figuur 4/7.14-7.

Bij een NOR-poort zal de uitgang "hoog" worden dan en alleen dan als beide ingangen "laag" zijn. Door nu in het schema van figuur 4/7.14-6 aan (A) en (B) verschillende "laag-hoog" combinaties toe te kennen en met de waarheidstabel in de hand de spanningen op de in- en uitgangen van de verschillende poorten in te vullen kan men snel ontdekken dat hetgeen gesteld is inderdaad de waarheid is.

7.14 Eenvoudige transistortester



Figuur 4/7.14-6: Het uitgewerkte schema van de binaire vergelijker.

De uitgang van de vergelijker kan niet voldoende stroom leveren om een LED rechtstreeks aan het "gloeien" te brengen.

Vandaar dat een transistor T1 is tussengeschakeld die gaat geleiden als de uitgang van poort d "hoog" wordt en een flinke stroom door de LED D2 stuurt.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W:

R1,R4	=	47	kΩ
R2	=	10	kΩ
R3	=	4,7	kΩ
R5,R7	=	1	kΩ
R6	=	10	kΩ

Condensatoren:

C1	=	220	µF	16 V elco
C2	=	22	µF	16 V elco

Halfgeleiders:

D1	=	1N4148
D2	=	LED 5 mm rood
T1	=	BC107

Geïntegreerde schakelingen:

IC1	=	CD4093B 4xNAND
IC2	=	CD4001B 4xNOR

Diversen:

S1,S2,S3	=	printschakelaars 2xOM Schadow
B1	=	batterij, 9 V

2 x IC-voetjes, 14-pens
5 x printsoldeerlipjes
1 x haakse LED-houder
3 x miniatuur testpennetjes
1 x trekontlasting uit netsteker
50 cm drieaderig soepel snoer

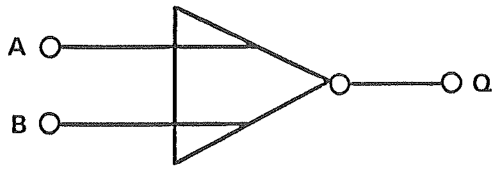
De bouw van de schakeling
Het printontwerpje van figuur 4/7.14-8 volgt de "alles op de print"-stijl die tegenwoordig meestal wordt toegepast. Dat wil zeggen dat alle onderdelen op de print passen en de externe bedrading tot een minimum wordt beperkt.

Figuur 4/7.14-9 geeft de componentenopstelling.

De bouw stelt geen problemen en is een werkje van een half uurtje.
Wie de speciale printschakelaars van Schadow nergens kan vinden, kan uiteraard ook gebruik maken van gewone tuimelschakelaars die op het frontplaatje van het kastje worden gemonteerd en ieder met zes draadjes met de print worden verbonden.
Bij het prototype werd de LED gemonteerd in een haakse LED-houder, maar uiteraard is dat geen eis.

De drie aansluitingen voor de te testen transistor worden met de aansluitingen "E", "B" en "C" op de print verbonden door middel van een halve meter lang drieaderig snoertje.
Bij het prototype werd een trekontlasting, gesloopt uit een netsteker, gebruikt om deze draadjes stevig met de print te verbinden.

De foto van figuur 4/7.14-10 geeft een impressie van het compleet gemonteerde prototype.

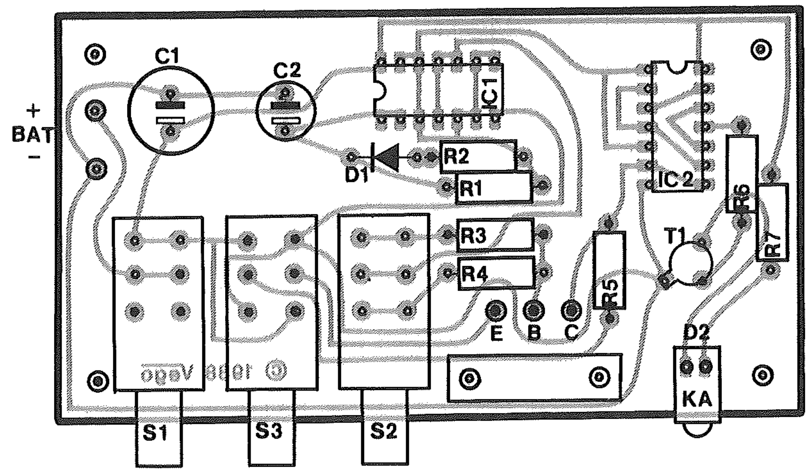


A	B	Q
L	L	H
H	L	L
L	H	L
H	H	L

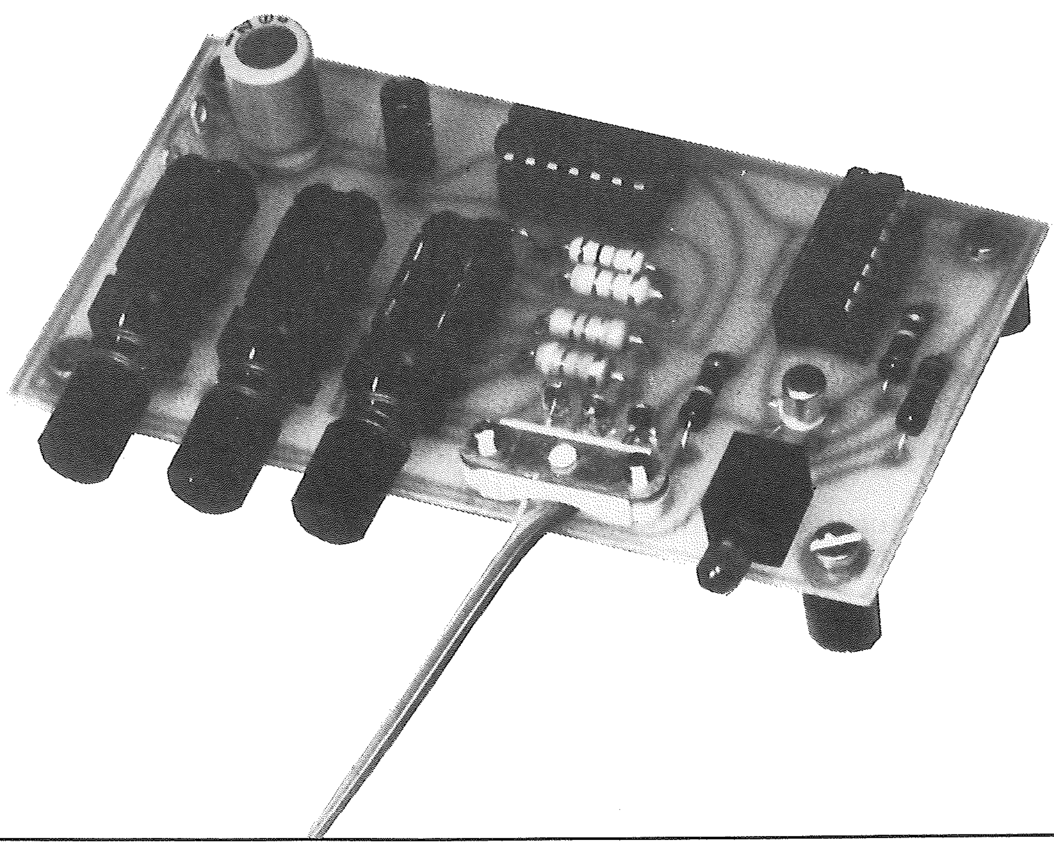
Figuur 4/7.14-7: De waarheidstabel van een NOR-poort kan helpen bij het doorgronden van de werking van de binaire vergelijker.

De testdraadjes
Voor het verbinden van de te testen transistoren met de draadjes zou men uiteraard gewone krokodilklemmen kunnen gebruiken. Deze zijn voor dit doel echter tamelijk groot! Veel fraaier is het gebruik te maken van de speciale "mini-clips" die bijvoorbeeld door Hirschmann worden geleverd.
Figuur 4/7.14-11 geeft een voorbeeld hoe men deze klemmetjes met de draadjes kan verbinden.
Als men op het knopje drukt opent een zeer klein haaks klemmetje aan de top van de clip, zodat men een van de aansluitdraadjes van de transistor met de tester kan verbinden.

7.14 Eenvoudige transistortester

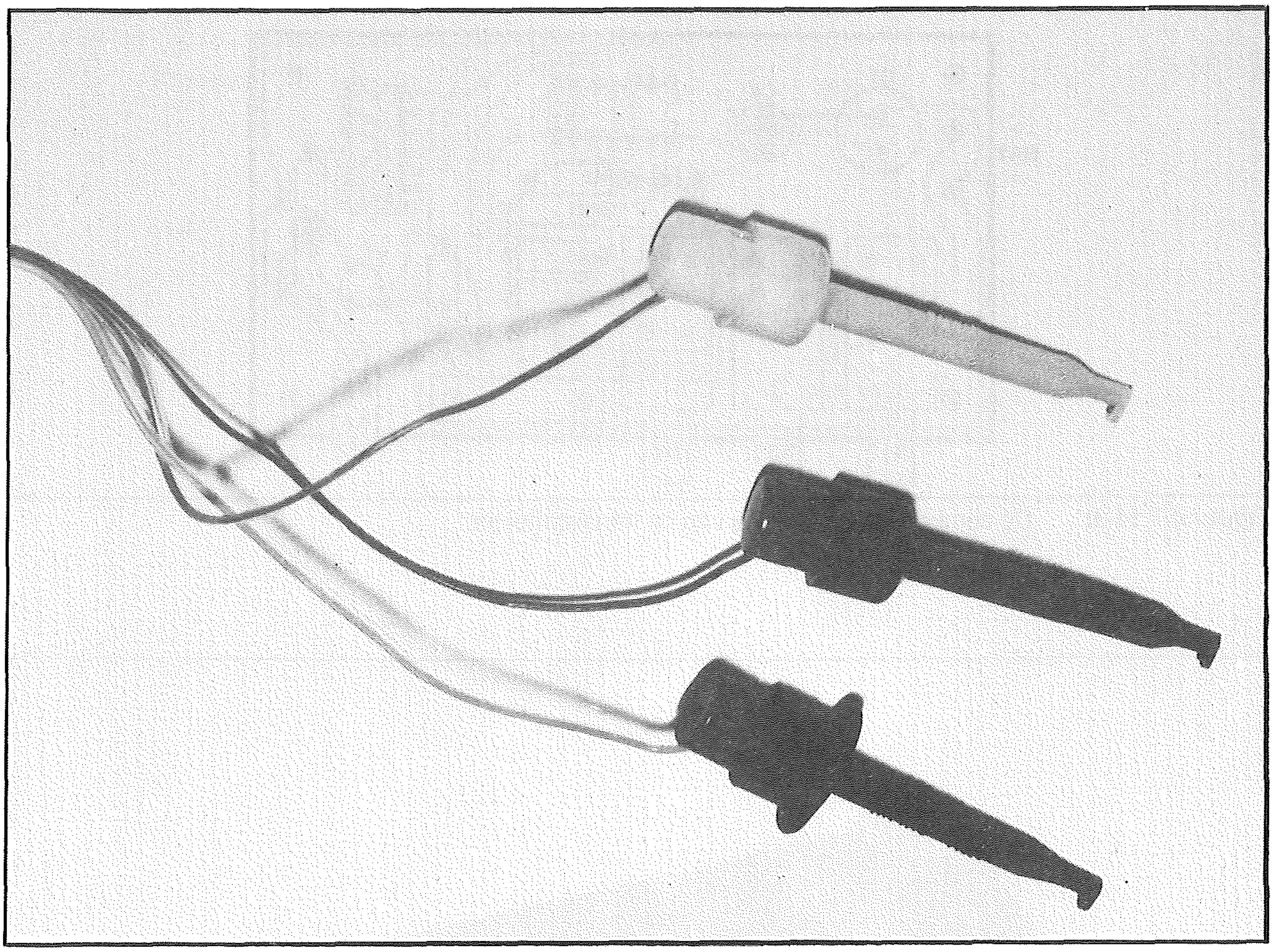


Figuur 4/7.14-9: De componentenopstelling van de transistortester.



Figuur 4/7.14-10: Een impressie van de afgebouwde transistortester.

7.14 Eenvoudige transistortester



Figuur 4/7.14-11: Een zeer professionele oplossing voor het verbinden van de te testen halfgeleider met de aansluitdraadjes van de tester.

Het gebruik van de tester

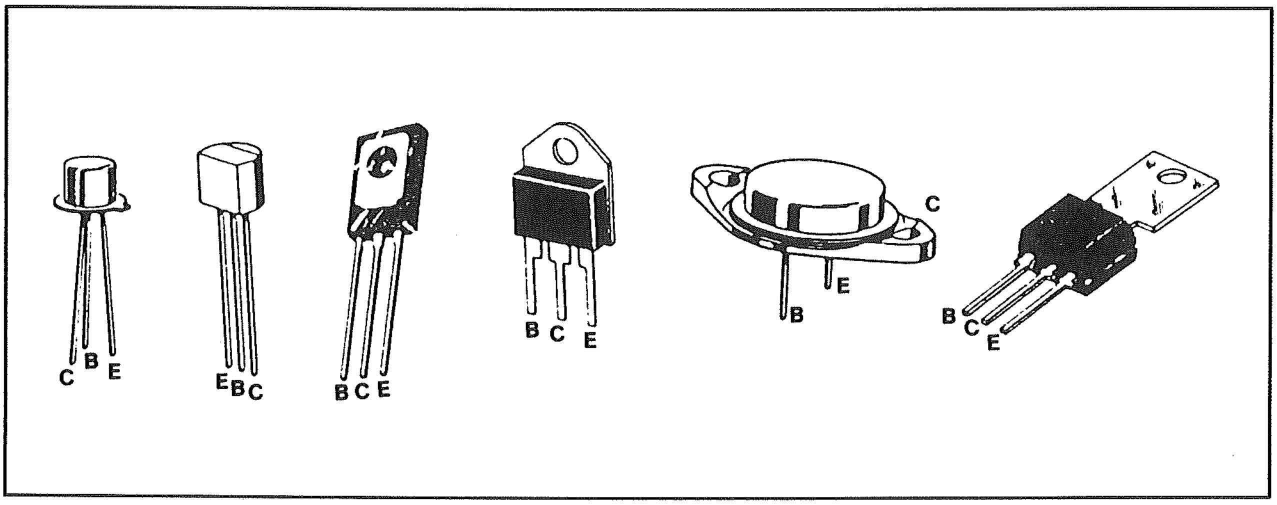
Over het gebruik valt weinig te zeggen. De te verrichten handelingen spreken voor zichzelf:

- te testen transistor uit de print solderen;
- volgens figuur 4/7.14-12 verbinden met de drie mini-clips;
- tester in de stand PNP of NPN zetten;
- basisstroom kiezen;
- tester inschakelen;
- aan de hand van de LED-indicatie en de tabel van figuur 4/7.14-13 afleiden wat er met de transistor aan de hand is.

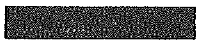
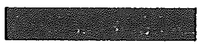
In figuur 4/7.14-12 is een overzicht gegevens van de aansluitgegevens van de vijf standaardbehuizingen waarin transistoren worden aangeboden.

Tot slot geeft de tabel van figuur 4/7.14-13 een overzicht van de manier waarop men de schakelaar moet instellen en het knipperen van de LED moet interpreteren voor NPN en PNP transistoren.

7.14 Eenvoudige transistortester



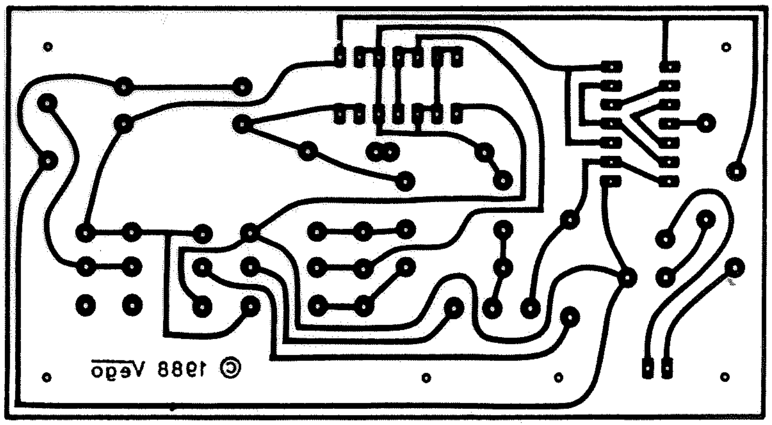
Figuur 4/7.14-12: Een overzicht van de aansluitgegevens van de meest gebruikte transistor behuizingen.

TRANSISTOR	SCHAKELAAR	LED	CONCLUSIE
NPN	IN	  	GOED COLLECTOR OP VOEDING COLLECTOR OP MASSA
PNP	UIT	  	GOED COLLECTOR OP MASSA COLLECTOR OP VOEDING

Figuur 4/7.14-13: Een overzichtelijke tabel waarmee men de meetresultaten van de transistortester onmiddellijk kan interpreteren.

7.14 Eenvoudige transistortester

7.14 Eenvoudige transistortester



Figuur 4/7.14-8: De print van de schakeling.

4/7.15 Periode-/frequentie-meter

De hoge signaalverwerkingssnelheid van de micro-electronica zorgt ervoor, dat er talrijke meetinstrumenten op de markt zijn voor dit soort fenomenen. De andere zijde, nl. langzaam verlopende processen worden in deze drang van steeds sneller nogal eens stiefkinderen. Hoe meten we exact het aantal omwentelingen van een langzaamlopende machine. De periode-/frequentiemeter brengt uitkomst!

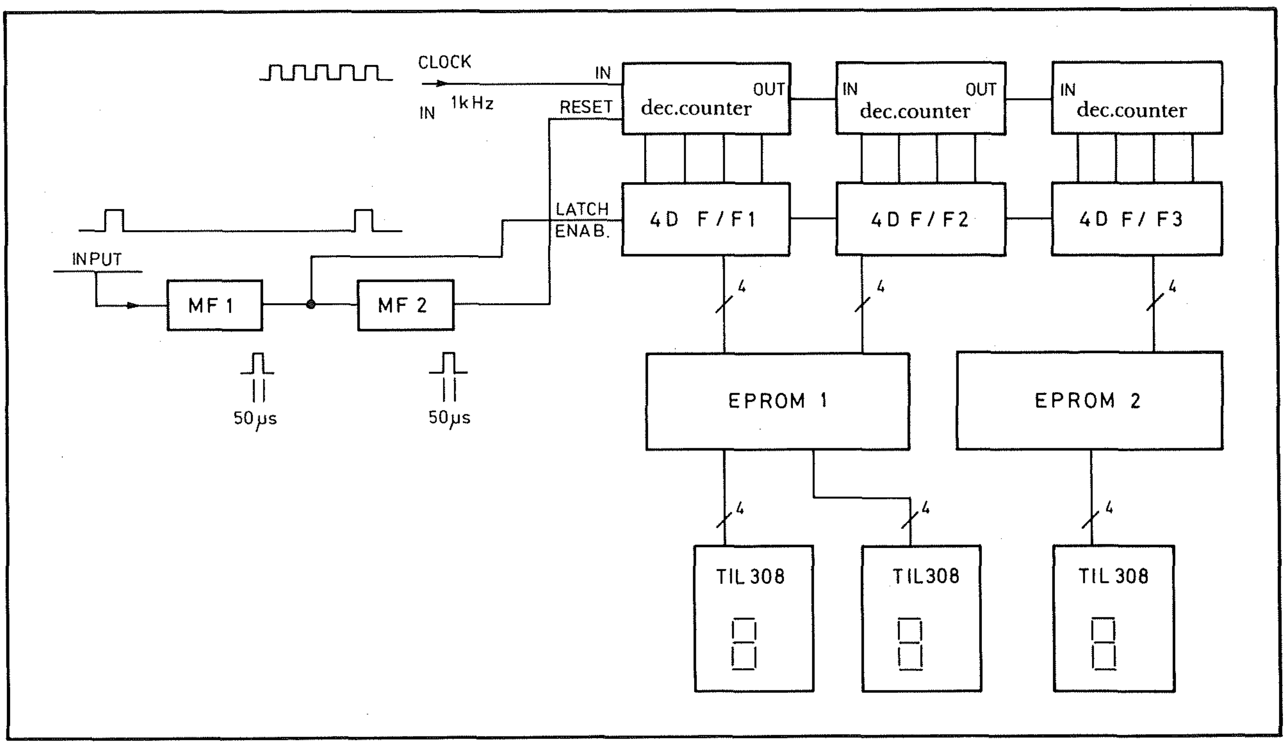


Fig. 4/7.15-1: Blokschema

Waar gaat het om?

Langzame verschijnselen, die moeten worden geteld verlangen tamelijk lange meetperioden om een goede nauwkeurigheid te bereiken. We demonstreren dit aan de hand van een toerenteller. Het toerental van een motor wordt aangegeven in omwentelingen per minuut. Bij een meettijd van een minuut bedraagt de meetfout +1/-1 omwenteling per minuut. Bij een meettijd van 30 seconden is dit al +2/-2 omwentelingen per minuut. (er wordt met modulo 2 geteld). Bij 15 sec +4/-4 etc. Daar staat natuurlijk tegenover, dat een lange meettijd automatisch in een betere nauwkeurigheid resulteert.

Bij periodieke verschijnselen is met de toerenteller (en ook met een pulsteller of frequentiemeter) een lange meettijd met een eenvoudige truc te stimuleren. Meet de periodeduur nauwkeurig en bereken daaruit het toerental. Als bijvoorbeeld een aanduiding in impulsen per minuut is gewenst (=1/min) en de periodeduur is in seconden gemeten dan kan de omrekening als volgt worden verkregen: Aanduiding= (1/X) x 60, waarin X de gemeten periodeduur is. In principe moet bij omzetting van periode duur naar frequentie altijd de functie 1/X worden vermenigvuldigd met een constante. Deze constante hangt af van welke meetgrootheid was gebruikt. In de regel 60, bij impulsen per minuut, omwentelingen per minuut etc. Oplossingen met rekenchips zijn doorgaans mogelijk, maar ingewikkeld. De in dit hoofdstuk naar voren gebrachte oplossing is te vinden in een Eprom, waarin de uitkomsten van de functie (1/X) x 60 zijn opgeslagen. De overeenkomstige adressen van de Eprom worden via een adrescounter, waarvan de stand afhankelijk is van de periodeduur, uitgelezen.

Interessant is, dat ook andere constanten dan 60 kunnen worden gebruikt. Men behoeft daartoe alleen maar andere waarden in de Prom te programmeren. (bijv. 3600 bij meting van de periodeduur in seconden en een gewenste aanduiding per uur). Ook kan men op deze manier karakteristieken lineariseren of geheel nieuwe functies realiseren. Als vertegenwoordiger van het principe wordt de schakeling voor een toerentalmeter besproken.

De blokken van het blokschema

In fig. 4/7.15-1 vinden we het blokschema. Op de klokingang van de eerste decimaalteller wordt een kloksignaal met een bepaalde frequentie aangeboden. De uitgang is verbonden met de ingang van de volgende decade etc. Het meetsignaal zorgt voor triggering van monoflop MF1, die een puls van 50 us produceert. Triggering gebeurt bij de neergaande flank. Deze puls zorgt ervoor, dat de quad latches FF1 t/m FF3 de tellerstand overnemen. Tegelijkertijd wordt MF2 getriggerd, die 50 us later de counters reset, waardoor een nieuwe meetcyclus wordt gestart. De stand van de drie flipflops vormt het adres voor de Eproms 1 en 2, waarvan de inhoud in drie BCD-gecodeerde decimalen wordt toegevoerd aan de 7-segment displays type TIL 308. Deze bevatten een 4-bits geheugen, een BCD naar 7-segment decoder, stroom-

bronnen en de LED's. Er wordt dus na elke periode van het meetsignaal een nieuwe meetwaarde getoond. Dit heeft als voordeel, dat korte veranderingen zichtbaar worden. (Dit zou bijv. van belang kunnen zijn bij toepassing van het beschreven apparaat als hartslag teller. Korte arhythmieën worden zeker gedisplay-ed).

Schemabespreking

In fig. 4/7.15-2 vinden we het schema. IC19 is de kristaloscillator. De opgewekte frequentie wordt door de delers IC14 to IC16 gedeeld naar een frequentie van 1kHz. IC13 bevat de beide monostabiele multivibratoren (monoflops), waaruit de latch en reset pulsen worden betrokken. De lengte van een periode wordt decimaal geteld in IC10 t/m 12. IC8, IC4 en IC7 zijn de quad D-flipflops, die als latches (standgeheugen) functioneren en die de EPROMS (TMS 2516) van adresinformatie voorzien.

Om het opgenomen vermogen te drukken werd met de poorten van IC19 en IC17, alsook IC9 een "Power down" signaal voor de Eproms gegenereerd. Daarmee wordt de relatief hoge voedingsstroom van de Eproms flink geknepen. Dit kan, omdat de TIL 308's zelf een geheugen hebben, waarin de laatst aangeboden ingangstoestand wordt bewaard. De opgenomen stroom van de Eproms kan zo worden teruggebracht van 180mA naar 30mA. Hierdoor wordt het ook mogelijk het apparaat met batterijen te voeden.

Voor de voeding kunnen vier Nicadcellen van elk 1,2 V worden gebruikt.

De meetingang verlangt een TTL-niveau. Afhankelijk van het gebruik zijn hiertoe verschillende oplossingen te bedenken.

In fig. 4/7.15 is een schakeling getekend voor een reflectie- of vorkdetector met een Schmitt-trigger, die bijvoorbeeld in een toerentalmeter kan worden gebruikt.

De schakeling kan worden gebouwd op een dubbelzijdige print, waarvan u de beide zijden op de transparant vindt. In fig. 4/7.15-6 vindt u de onderdelen plattegrond. De tabellen 1 en 2 geven de listing van de Eproms 1 en 2; Tabel 1 is de listing voor IC5 (honderdtallen) en tabel 2 voor IC6 (tientallen en eenheden). De in de tabellen opgenomen waarden gelden voor de formule: (1/X) x 60.

Mogelijke modificaties

Het is uiteraard mogelijk een ander meetbereik te creëren door verandering van de klokfrequentie. In de schakeling volgens het schema is het effectieve meetbereik 30...984 pulsen per minuut. Daarbij neemt uiteraard de meetnauwkeurigheid af bij hogere waarden en zullen de onnauwkeurigheidssprongen groter worden, zoals aan het begin van dit hoofdstuk besproken. Om andere waarden voor de Eprom te berekenen is in tabel 4/7.15-3 het BASIC-programma opgenomen, dat werd gebruikt voor het genereren van de Hex-inputs van de beide Proms. Voor geïnteresseerde lezers moet het niet al te ingewikkeld zijn dit programma voor andere doeleinden aan te passen.

Samenvatting

Dit instrument maakt het mogelijk, in Eproms vastgelegde meettabellen aan de hand van door tellers gegenereerde adressen op een display aan te geven. Hierdoor ontstaat een aanduiding die een functie is van de gemeten ingangstijd.

De keuze van de componenten en de gebruikte techniek maken het mogelijk dit apparaat te gebruiken met batterijvoeding.

Interessant is de grote nauwkeurigheid bij een korte meettijd.

Tabel 4/7.15-3 BASIC programma voor het genereren van de Hex-inputs.

```
 4 CN = Ø
 5 INPUT "HONDERDTALLEN (H) OF TIENTALLEN (T)? ",X$
 6 PRINT:PRINT:PRINT
 7 IF X$="H" THEN PRINT" ........................................ HONDERDTALLEN"
 8 IF X$<>"H" THEN PRINT" ........................... TIENTALLEN/EENHEDEN"
 9 PRINT:PRINT:PRINT
10 FOR X=1 TO 2048 STEP 1
20 A=(1000/X)*60
30 REM HONDERDSTEN
40 H=INT(A/100)
50 REM EENHEDEN, TIENTALLEN
60 EZ=INT(((A/100)-H)*100+.5)
65 IF EZ=100 THEN EZ=0:H=H+1
67 IF X<61 THEN H=0:EZ=0
70 IF X$="H"THEN PRINT "0"+RIGHT$(STR$(H),1);".........";
75 IF X$<>"H" AND EZ<10 THEN PRINT "0"+RIGHT$(STR$(EZ),1);"........";
76 IF X$<>"H" AND EZ=>10 THEN PRINT RIGHT$(STR$(EZ),2);".........";
77 CN=CN+1
78 IF CN=16 THEN CN=Ø:PRINT
80 NEXT X
```

Onderdelenlijst

Positie	Omschrijving	Type/waarde
IC1...IC3	Zeven-segment-displays	TIL 308
IC4, IC7, IC8	2x2 D flip-flop	SN74LS74N
IC5, IC6	Eprom Intel	TMS2516 of 2716
IC9	QUAD NOR-poort	SN74LS02N
IC10...IC12	4-bit bin counter	SN74LS93N
IC13	Monoflop	SN74LS123N
IC14...IC16	decimal counters	SN74LS90N
IC17	TRIPLE AND-poort	SN74LS11N
IC18	Dual JK flipflop	SN74LS76N
IC19	Hex-inverter	SN74LS04N
R1, R2	Weerstand	180K, 1/4W, 5%
R3, R4	Weerstand	1K5, 1/4W, 5%
C1, C2, C4	Condensator	680 pF
C3	Condensator	10 nF
C5, C6	Condensator	1 uF/10V
Q1	Kristal	1 MHz

7.15 Periode-/frequentie-meter

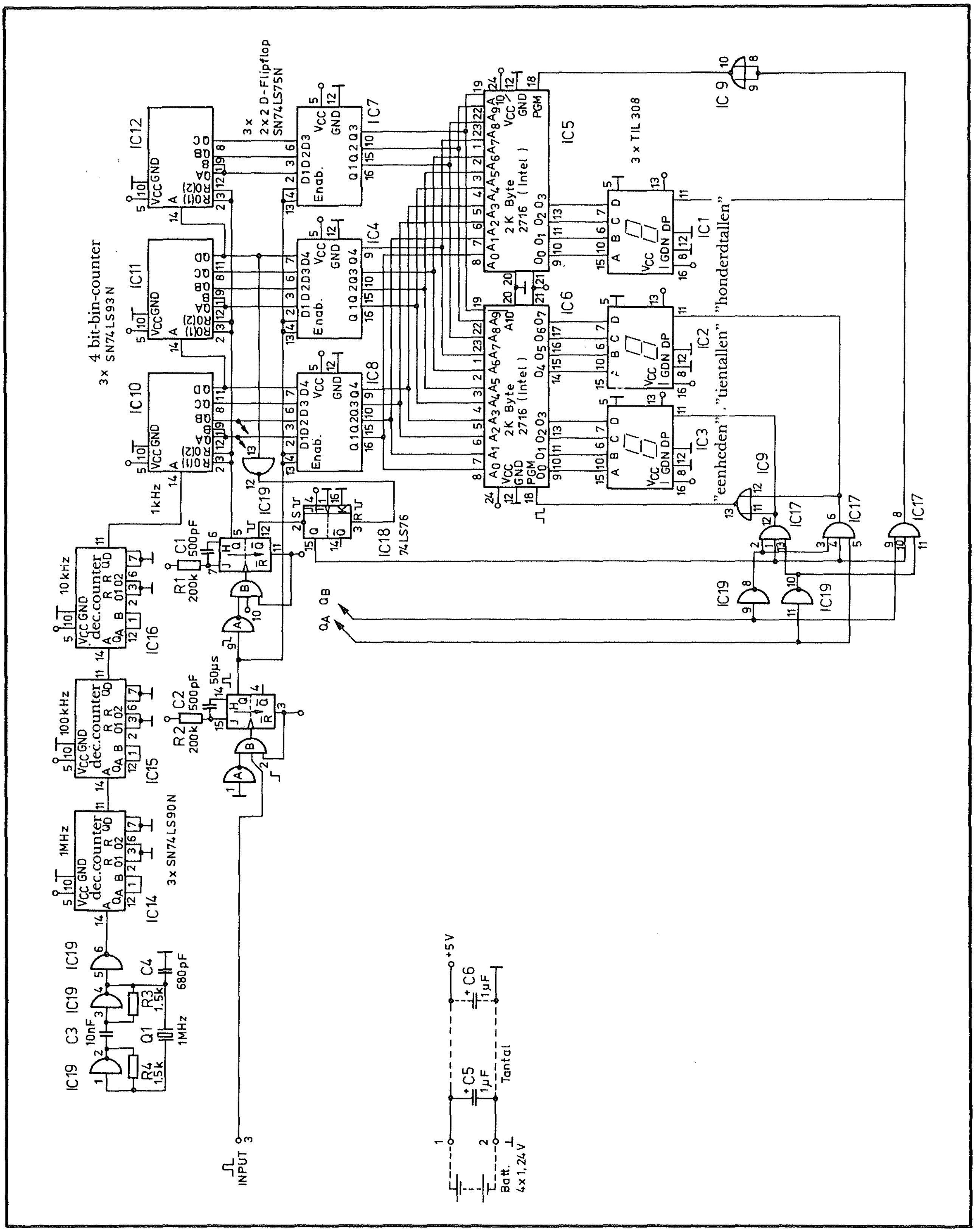


Fig. 4/7.15-2: Schema

7.15 Periode-/frequentie-meter

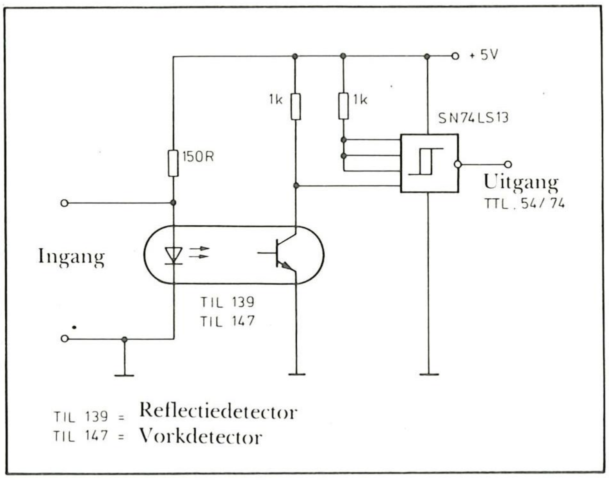


Fig. 4/7.15-3:

Schema voor een reflectie of vork opnemer

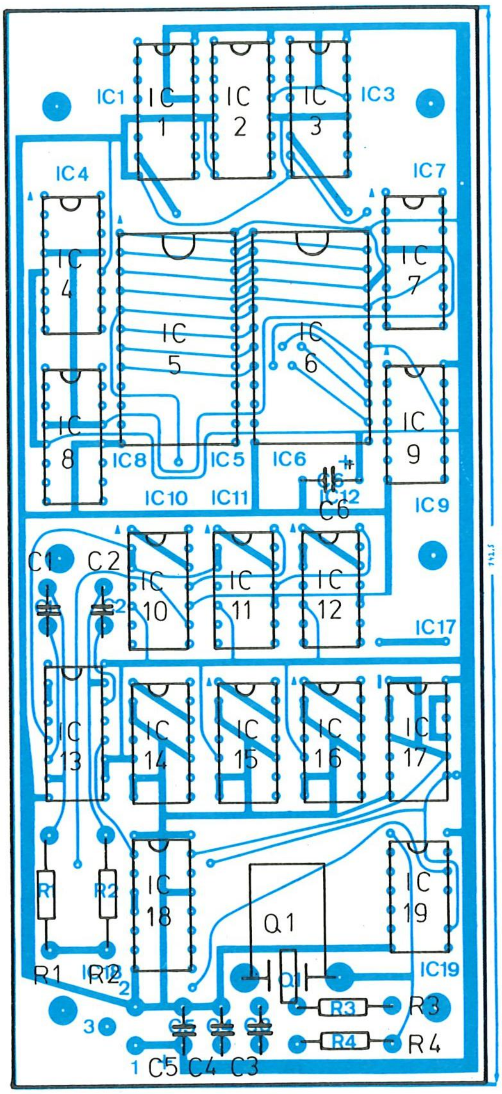


Fig. 4/7.15-6: Onderdelenplattegrond

Honderdtallen

00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	09	09	09	09
09	09	08	08	08	08	08	08	08	08	08	07	07	07	07	07
07	07	07	07	07	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06	06
06	06	06	06	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05
05	05	05	05	05	05	05	05	04	04	04	04	04	04	04	04
04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04
04	04	04	04	04	04	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03
03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03
03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03
03	03	03	03	03	03	03	03	02	02	02	02	02	02	02	02
02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02
02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02
02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02
02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02
02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02
02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	02	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC5 (deel 1)

00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC5 (deel 2)

7.15 Periode-/frequentie-meter Deel 4: Voorbeeldschakelingen

```
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
```

TIENTALLEN/EENHEDEN

```
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 84 68 52 38
23 09 96 82 70 57 45 33 22 11 00 89 79 69 59 50
41 32 23 14 06 98 90 82 74 67 59 52 45 38 32 25
19 12 06 00 94 88 83 77 71 66 61 56 50 45 41 36
31 26 22 17 13 08 04 00 96 92 88 84 80 76 72 69
65 62 58 55 51 48 44 41 38 35 32 29 26 23 20 17
```

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC5 (deel 3)

14	11	08	05	03	00	97	95	92	90	87	85	82	80	77	75
73	70	68	66	64	61	59	57	55	53	51	49	47	45	43	41
39	37	35	33	31	30	28	26	24	23	21	19	17	16	14	13
11	09	08	06	05	03	02	00	99	97	96	94	93	91	90	88
87	86	84	83	82	80	79	78	76	75	74	73	71	70	69	68
67	65	64	63	62	61	60	59	58	56	55	54	53	52	51	50
49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34
33	33	32	31	30	29	28	27	26	26	25	24	23	22	21	21
20	19	18	17	17	16	15	14	14	13	12	11	11	10	09	08
08	07	06	05	05	04	03	03	02	01	01	00	99	99	98	97
97	96	95	95	94	94	93	92	92	91	90	90	89	89	88	88
87	86	86	85	85	84	83	83	82	82	81	81	80	80	79	79
78	78	77	76	76	75	75	74	74	73	73	72	72	71	71	70
70	69	69	69	68	68	67	67	66	66	65	65	64	64	63	63
63	62	62	61	61	60	60	60	59	59	58	58	57	57	57	56
56	55	55	55	54	54	53	53	53	52	52	52	51	51	50	50
50	49	49	49	48	48	47	47	47	46	46	46	45	45	45	44
44	44	43	43	43	42	42	42	41	41	41	40	40	40	39	39
39	38	38	38	37	37	37	36	36	36	35	35	35	35	34	34
34	33	33	33	32	32	32	32	31	31	31	30	30	30	30	29
29	29	28	28	28	28	27	27	27	27	26	26	26	26	25	25
25	24	24	24	24	23	23	23	23	22	22	22	22	21	21	21
21	20	20	20	20	20	19	19	19	19	18	18	18	18	17	17
17	17	17	16	16	16	16	15	15	15	15	15	14	14	14	14
13	13	13	13	13	12	12	12	12	12	11	11	11	11	10	10
10	10	10	09	09	09	09	09	08	08	08	08	08	08	07	07
07	07	07	06	06	06	06	06	05	05	05	05	05	05	04	04
04	04	04	03	03	03	03	03	03	02	02	02	02	02	02	01
01	01	01	01	01	00	00	00	00	00	00	99	99	99	99	99
99	98	98	98	98	98	98	97	97	97	97	97	97	96	96	96
96	96	96	96	95	95	95	95	95	95	94	94	94	94	94	94
94	93	93	93	93	93	93	93	92	92	92	92	92	92	92	91
91	91	91	91	91	91	90	90	90	90	90	90	90	90	89	89
89	89	89	69	89	68	88	88	88	88	88	88	88	87	87	87
87	87	87	87	87	86	86	86	86	86	86	86	86	85	85	85
85	85	85	85	85	85	84	84	84	84	84	84	84	84	83	83
83	83	83	83	83	83	83	82	82	82	82	82	82	82	82	82
81	81	81	81	81	81	81	81	81	80	80	80	80	80	80	80
80	80	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	78	78	78	78
78	78	78	78	78	78	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	75	75	75	75	75	75
75	75	75	75	75	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	72	72	72	72	72
72	72	72	72	72	72	72	71	71	71	71	71	71	71	71	71
71	71	71	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	69
69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	68	68	68	68	68
68	68	68	68	68	68	68	68	67	67	67	67	67	67	67	67
67	67	67	67	67	67	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC5 (deel 4)

7.15 Periode-/frequentie-meter

66	66	66	66	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
65	65	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	62
62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	61
61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	60
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
59	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
58	58	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
57	57	57	57	57	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
56	56	56	56	56	56	56	56	56	55	55	55	55	55	55	55
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	54	54	54	54
54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
54	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
53	53	53	53	53	53	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	51	51	51
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
51	51	51	51	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	49	49	49	49
49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
49	49	49	49	49	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	47
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	46	46	46	46	46	46
46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
46	46	46	46	46	46	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
45	45	45	45	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
44	44	44	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
43	43	43	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
42	42	42	42	42	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
41	41	41	41	41	41	41	41	41	40	40	40	40	40	40	40
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	39	39
39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
39	39	39	39	39	39	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	36	36	36	36	36
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC5 (deel 5)

7.15 Periode-/frequentie-meter

36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	35	35	35	35	35	35
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	34	34	34	34	34
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	33
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
33	33	33	33	33	33	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
30	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC5 (deel 6)

1	60000	49	1224	97	619	145	414
2	30000	50	1200	98	612	146	411
3	20000	51	1176	99	606	147	408
4	15000	52	1154	100	600	148	405
5	12000	53	1132	101	594	149	403
6	10000	54	1111	102	588	150	400
7	8571	55	1091	103	583	151	397
8	7500	56	1071	104	577	152	395
9	6667	57	1053	105	571	153	392
10	6000	58	1034	106	566	154	390
11	5455	59	1017	107	561	155	387
12	5000	60	1000	108	556	156	385
13	4615	61	984	109	550	157	382
14	4286	62	968	110	545	158	380
15	4000	63	952	111	541	159	377
16	3750	64	938	112	536	160	375
17	3529	65	923	113	531	161	373
18	3333	66	909	114	526	162	370
19	3158	67	896	115	522	163	368
20	3000	68	882	116	517	164	366
21	2857	69	870	117	513	165	364
22	2727	70	857	118	508	166	361
23	2609	71	845	119	504	167	359
24	2500	72	833	120	500	168	357
25	2400	73	822	121	496	169	355
26	2308	74	811	122	492	170	353
27	2222	75	800	123	488	171	351
28	2143	76	789	124	484	172	349
29	2069	77	779	125	480	173	347
30	2000	78	769	126	476	174	345
31	1935	79	759	127	472	175	343
32	1875	80	750	128	469	176	341
33	1818	81	741	129	465	177	339
34	1765	82	732	130	462	178	337
35	1714	83	723	131	458	179	335
36	1667	84	714	132	455	180	333
37	1622	85	706	133	451	181	331
38	1579	86	698	134	448	182	330
39	1538	87	690	135	444	183	328
40	1500	88	682	136	441	184	326
41	1463	89	674	137	438	185	324
42	1429	90	667	138	435	186	323
43	1395	91	659	139	432	187	321
44	1364	92	652	140	429	188	319
45	1333	93	645	141	426	189	317
46	1304	94	638	142	423	190	316
47	1277	95	632	143	420	191	314
48	1250	96	625	144	417	192	313

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC6 (deel 1)

7.15 Periode-/frequentie-meter

193	311	241	249	289	208	337	178
194	309	242	248	290	207	338	178
195	308	243	247	291	206	339	177
196	306	244	246	292	205	340	176
197	305	245	245	293	205	341	176
198	303	246	244	294	204	342	175
199	302	247	243	295	203	343	175
200	300	248	242	296	203	344	174
201	299	249	241	297	202	345	174
202	297	250	240	298	201	346	173
203	296	251	239	299	201	347	173
204	294	252	238	300	200	348	172
205	293	253	237	301	199	349	172
206	291	254	236	302	199	350	171
207	290	255	235	303	198	351	171
208	288	256	234	304	197	352	170
209	287	257	233	305	197	353	170
210	286	258	233	306	196	354	169
211	284	259	232	307	195	355	169
212	283	260	231	308	195	356	169
213	282	261	230	309	194	357	168
214	280	262	229	310	194	358	168
215	279	263	228	311	193	359	167
216	278	264	227	312	192	360	167
217	276	265	226	313	192	361	166
218	275	266	226	314	191	362	166
219	274	267	225	315	190	363	165
220	273	268	224	316	190	364	165
221	271	269	223	317	189	365	164
222	270	270	222	318	189	366	164
223	269	271	221	319	188	367	163
224	268	272	221	320	188	368	163
225	267	273	220	321	187	369	163
226	265	274	219	322	186	370	162
227	264	275	218	323	186	371	162
228	263	276	217	324	185	372	161
229	262	277	217	325	185	373	161
230	261	278	216	326	184	374	160
231	260	279	215	327	183	375	160
232	259	280	214	328	183	376	160
233	258	281	214	329	182	377	159
234	256	282	213	330	182	378	159
235	255	283	212	331	181	379	158
236	254	284	211	332	181	380	158
237	253	285	211	333	180	381	157
238	252	286	210	334	180	382	157
239	251	287	209	335	179	383	157
240	250	288	208	336	179	384	156

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC6 (deel 2)

385	156	433	139	481	125	529	113
386	155	434	138	482	124	530	113
387	155	435	138	483	124	531	113
388	155	436	138	484	124	532	113
389	154	437	137	485	124	533	113
390	154	438	137	486	123	534	112
391	153	439	137	487	123	535	112
392	153	440	136	488	123	536	112
393	153	441	136	489	123	537	112
394	152	442	136	490	122	538	112
395	152	443	135	491	122	539	111
396	152	444	135	492	122	540	111
397	151	445	135	493	122	541	111
398	151	446	135	494	121	542	111
399	150	447	134	495	121	543	110
400	150	448	134	496	121	544	110
401	150	449	134	497	121	545	110
402	149	450	133	498	120	546	110
403	149	451	133	499	120	547	110
404	149	452	133	500	120	548	109
405	148	453	132	501	120	549	109
406	148	454	132	502	120	550	109
407	147	455	132	503	119	551	109
408	147	456	132	504	119	552	109
409	147	457	131	505	119	553	108
410	146	458	131	506	119	554	108
411	146	459	131	507	118	555	108
412	146	460	130	508	118	556	108
413	145	461	130	509	118	557	108
414	145	462	130	510	118	558	108
415	145	463	130	511	117	559	107
416	144	464	129	512	117	560	107
417	144	465	129	513	117	561	107
418	144	466	129	514	117	562	107
419	143	467	128	515	117	563	107
420	143	468	128	516	116	564	106
421	143	469	128	517	116	565	106
422	142	470	128	518	116	566	106
423	142	471	127	519	116	567	106
424	142	472	127	520	115	568	106
425	141	473	127	521	115	569	105
426	141	474	127	522	115	570	105
427	141	475	126	523	115	571	105
428	140	476	126	524	115	572	105
429	140	477	126	525	114	573	105
430	140	478	126	526	114	574	105
431	139	479	125	527	114	575	104
432	139	480	125	528	114	576	104

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC6 (deel 3)

577	104	625	96	673	89	721	83
578	104	626	96	674	89	722	83
579	104	627	96	675	89	723	83
580	103	628	96	676	89	724	83
581	103	629	95	677	89	725	83
582	103	630	95	678	88	726	83
583	103	631	95	679	88	727	83
584	103	632	95	680	88	728	82
585	103	633	95	681	88	729	82
586	102	634	95	682	88	730	82
587	102	635	94	683	88	731	82
588	102	636	94	684	88	732	82
589	102	637	94	685	88	733	82
590	102	638	94	686	87	734	82
591	102	639	94	687	87	735	82
592	101	640	94	688	87	736	82
593	101	641	94	689	87	737	81
594	101	642	93	690	87	738	81
595	101	643	93	691	87	739	81
596	101	644	93	692	87	740	81
597	101	645	93	693	87	741	81
598	100	646	93	694	86	742	81
599	100	647	93	695	86	743	81
600	100	648	93	696	86	744	81
601	100	649	92	697	86	745	81
602	100	650	92	698	86	746	80
603	100	651	92	699	86	747	80
604	99	652	92	700	86	748	80
605	99	653	92	701	86	749	80
606	99	654	92	702	85	750	80
607	99	655	92	703	85	751	80
608	99	656	91	704	85	752	80
609	99	657	91	705	85	753	80
610	98	658	91	706	85	754	80
611	98	659	91	707	85	755	79
612	98	660	91	708	85	756	79
613	98	661	91	709	85	757	79
614	98	662	91	710	85	758	79
615	98	663	90	711	84	759	79
616	97	664	90	712	84	760	79
617	97	665	90	713	84	761	79
618	97	666	90	714	84	762	79
619	97	667	90	715	84	763	79
620	97	668	90	716	84	764	79
621	97	669	90	717	84	765	78
622	96	670	90	718	84	766	78
623	96	671	89	719	83	767	78
624	96	672	89	720	83	768	78

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC6 (deel 4)

769	78	817	73	865	69	913	66
770	78	818	73	866	69	914	66
771	78	819	73	867	69	915	66
772	78	820	73	868	69	916	66
773	78	821	73	869	69	917	65
774	78	822	73	870	69	918	65
775	77	823	73	871	69	919	65
776	77	824	73	872	69	920	65
777	77	825	73	873	69	921	65
778	77	826	73	874	69	922	65
779	77	827	73	875	69	923	65
780	77	828	72	876	68	924	65
781	77	829	72	877	68	925	65
782	77	830	72	878	68	926	65
783	77	831	72	879	68	927	65
784	77	832	72	880	68	928	65
785	76	833	72	881	68	929	65
786	76	834	72	882	68	930	65
787	76	835	72	883	68	931	64
788	76	836	72	884	68	932	64
789	76	837	72	885	68	933	64
790	76	838	72	886	68	934	64
791	76	839	72	887	68	935	64
792	76	840	71	888	68	936	64
793	76	841	71	889	67	937	64
794	76	842	71	890	67	938	64
795	75	843	71	891	67	939	64
796	75	844	71	892	67	940	64
797	75	845	71	893	67	941	64
798	75	846	71	894	67	942	64
799	75	847	71	895	67	943	64
800	75	848	71	896	67	944	64
801	75	849	71	897	67	945	63
802	75	850	71	898	67	946	63
803	75	851	71	899	67	947	63
804	75	852	70	900	67	948	63
805	75	853	70	901	67	949	63
806	74	854	70	902	67	950	63
807	74	855	70	903	66	951	63
808	74	856	70	904	66	952	63
809	74	857	70	905	66	953	63
810	74	858	70	906	66	954	63
811	74	859	70	907	66	955	63
812	74	860	70	908	66	956	63
813	74	861	70	909	66	957	63
814	74	862	70	910	66	958	63
815	74	863	70	911	66	959	63
816	74	864	69	912	66	960	62

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC6 (deel 5)

7.15 Periode-/frequentie-meter Deel 4: Voorbeeldschakelingen

961	62	1009	59	1057	57	1105	54
962	62	1010	59	1058	57	1106	54
963	62	1011	59	1059	57	1107	54
964	62	1012	59	1060	57	1108	54
965	62	1013	59	1061	57	1109	54
966	62	1014	59	1062	56	1110	54
967	62	1015	59	1063	56	1111	54
968	62	1016	59	1064	56	1112	54
969	62	1017	59	1065	56	1113	54
970	62	1018	59	1066	56	1114	54
971	62	1019	59	1067	56	1115	54
972	62	1020	59	1068	56	1116	54
973	62	1021	59	1069	56	1117	54
974	62	1022	59	1070	56	1118	54
975	62	1023	59	1071	56	1119	54
976	61	1024	59	1072	56	1120	54
977	61	1025	59	1073	56	1121	54
978	61	1026	58	1074	56	1122	53
979	61	1027	58	1075	56	1123	53
980	61	1028	58	1076	56	1124	53
981	61	1029	58	1077	56	1125	53
982	61	1030	58	1078	56	1126	53
983	61	1031	58	1079	56	1127	53
984	61	1032	58	1080	56	1128	53
985	61	1033	58	1081	56	1129	53
986	61	1034	58	1082	55	1130	53
987	61	1035	58	1083	55	1131	53
988	61	1036	58	1084	55	1132	53
989	61	1037	58	1085	55	1133	53
990	61	1038	58	1086	55	1134	53
991	61	1039	58	1087	55	1135	53
992	60	1040	58	1088	55	1136	53
993	60	1041	58	1089	55	1137	53
994	60	1042	58	1090	55	1138	53
995	60	1043	58	1091	55	1139	53
996	60	1044	57	1092	55	1140	53
997	60	1045	57	1093	55	1141	53
998	60	1046	57	1094	55	1142	53
999	60	1047	57	1095	55	1143	52
1000	60	1048	57	1096	55	1144	52
1001	60	1049	57	1097	55	1145	52
1002	60	1050	57	1098	55	1146	52
1003	60	1051	57	1099	55	1147	52
1004	60	1052	57	1100	55	1148	52
1005	60	1053	57	1101	54	1149	52
1006	60	1054	57	1102	54	1150	52
1007	60	1055	57	1103	54	1151	52
1008	60	1056	57	1104	54	1152	52

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC6 (deel 6)

1153	52	1201	50	1249	48	1297	46
1154	52	1202	50	1250	48	1298	46
1155	52	1203	50	1251	48	1299	46
1156	52	1204	50	1252	48	1300	46
1157	52	1205	50	1253	48	1301	46
1158	52	1206	50	1254	48	1302	46
1159	52	1207	50	1255	48	1303	46
1160	52	1208	50	1256	48	1304	46
1161	52	1209	50	1257	48	1305	46
1162	52	1210	50	1258	48	1306	46
1163	52	1211	50	1259	48	1307	46
1164	52	1212	50	1260	48	1308	46
1165	52	1213	49	1261	48	1309	46
1166	51	1214	49	1262	48	1310	46
1167	51	1215	49	1263	48	1311	46
1168	51	1216	49	1264	47	1312	46
1169	51	1217	49	1265	47	1313	46
1170	51	1218	49	1266	47	1314	46
1171	51	1219	49	1267	47	1315	46
1172	51	1220	49	1268	47	1316	46
1173	51	1221	49	1269	47	1317	46
1174	51	1222	49	1270	47	1318	46
1175	51	1223	49	1271	47	1319	45
1176	51	1224	49	1272	47	1320	45
1177	51	1225	49	1273	47	1321	45
1178	51	1226	49	1274	47	1322	45
1179	51	1227	49	1275	47	1323	45
1180	51	1228	49	1276	47	1324	45
1181	51	1229	49	1277	47	1325	45
1182	51	1230	49	1278	47	1326	45
1183	51	1231	49	1279	47	1327	45
1184	51	1232	49	1280	47	1328	45
1185	51	1233	49	1281	47	1329	45
1186	51	1234	49	1282	47	1330	45
1187	51	1235	49	1283	47	1331	45
1188	51	1236	49	1284	47	1332	45
1189	50	1237	49	1285	47	1333	45
1190	50	1238	48	1286	47	1334	45
1191	50	1239	48	1287	47	1335	45
1192	50	1240	48	1288	47	1336	45
1193	50	1241	48	1289	47	1337	45
1194	50	1242	48	1290	47	1338	45
1195	50	1243	48	1291	46	1339	45
1196	50	1244	48	1292	46	1340	45
1197	50	1245	48	1293	46	1341	45
1198	50	1246	48	1294	46	1342	45
1199	50	1247	48	1295	46	1343	45
1200	50	1248	48	1296	46	1344	45

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC6 (deel 7)

1345	45	1393	43	1441	42	1489	40
1346	45	1394	43	1442	42	1490	40
1347	45	1395	43	1443	42	1491	40
1348	45	1396	43	1444	42	1492	40
1349	44	1397	43	1445	42	1493	40
1350	44	1398	43	1446	41	1494	40
1351	44	1399	43	1447	41	1495	40
1352	44	1400	43	1448	41	1496	40
1353	44	1401	43	1449	41	1497	40
1354	44	1402	43	1450	41	1498	40
1355	44	1403	43	1451	41	1499	40
1356	44	1404	43	1452	41	1500	40
1357	44	1405	43	1453	41	1501	40
1358	44	1406	43	1454	41	1502	40
1359	44	1407	43	1455	41	1503	40
1360	44	1408	43	1456	41	1504	40
1361	44	1409	43	1457	41	1505	40
1362	44	1410	43	1458	41	1506	40
1363	44	1411	43	1459	41	1507	40
1364	44	1412	42	1460	41	1508	40
1365	44	1413	42	1461	41	1509	40
1366	44	1414	42	1462	41	1510	40
1367	44	1415	42	1463	41	1511	40
1368	44	1416	42	1464	41	1512	40
1369	44	1417	42	1465	41	1513	40
1370	44	1418	42	1466	41	1514	40
1371	44	1419	42	1467	41	1515	40
1372	44	1420	42	1468	41	1516	40
1373	44	1421	42	1469	41	1517	40
1374	44	1422	42	1470	41	1518	40
1375	44	1423	42	1471	41	1519	39
1376	44	1424	42	1472	41	1520	39
1377	44	1425	42	1473	41	1521	39
1378	44	1426	42	1474	41	1522	39
1379	44	1427	42	1475	41	1523	39
1380	43	1428	42	1476	41	1524	39
1381	43	1429	42	1477	41	1525	39
1382	43	1430	42	1478	41	1526	39
1383	43	1431	42	1479	41	1527	39
1384	43	1432	42	1480	41	1528	39
1385	43	1433	42	1481	41	1529	39
1386	43	1434	42	1482	40	1530	39
1387	43	1435	42	1483	40	1531	39
1388	43	1436	42	1484	40	1532	39
1389	43	1437	42	1485	40	1533	39
1390	43	1438	42	1486	40	1534	39
1391	43	1439	42	1487	40	1535	39
1392	43	1440	42	1488	40	1536	39

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC6 (deel 8)

1537	39	1585	38	1633	37	1681	36
1538	39	1586	38	1634	37	1682	36
1539	39	1587	38	1635	37	1683	36
1540	39	1588	38	1636	37	1684	36
1541	39	1589	38	1637	37	1685	36
1542	39	1590	38	1638	37	1686	36
1543	39	1591	38	1639	37	1687	36
1544	39	1592	38	1640	37	1688	36
1545	39	1593	38	1641	37	1689	36
1546	39	1594	38	1642	37	1690	36
1547	39	1595	38	1643	37	1691	35
1548	39	1596	38	1644	36	1692	35
1549	39	1597	38	1645	36	1693	35
1550	39	1598	38	1646	36	1694	35
1551	39	1599	38	1647	36	1695	35
1552	39	1600	38	1648	36	1696	35
1553	39	1601	37	1649	36	1697	35
1554	39	1602	37	1650	36	1698	35
1555	39	1603	37	1651	36	1699	35
1556	39	1604	37	1652	36	1700	35
1557	39	1605	37	1653	36	1701	35
1558	39	1606	37	1654	36	1702	35
1559	38	1607	37	1655	36	1703	35
1560	38	1608	37	1656	36	1704	35
1561	38	1609	37	1657	36	1705	35
1562	38	1610	37	1658	36	1706	35
1563	38	1611	37	1659	36	1707	35
1564	38	1612	37	1660	36	1708	35
1565	38	1613	37	1661	36	1709	35
1566	38	1614	37	1662	36	1710	35
1567	38	1615	37	1663	36	1711	35
1568	38	1616	37	1664	36	1712	35
1569	38	1617	37	1665	36	1713	35
1570	38	1618	37	1666	36	1714	35
1571	38	1619	37	1667	36	1715	35
1572	38	1620	37	1668	36	1716	35
1573	38	1621	37	1669	36	1717	35
1574	38	1622	37	1670	36	1718	35
1575	38	1623	37	1671	36	1719	35
1576	38	1624	37	1672	36	1720	35
1577	38	1625	37	1673	36	1721	35
1578	38	1626	37	1674	36	1722	35
1579	38	1627	37	1675	36	1723	35
1580	38	1628	37	1676	36	1724	35
1581	38	1629	37	1677	36	1725	35
1582	38	1630	37	1678	36	1726	35
1583	38	1631	37	1679	36	1727	35
1584	38	1632	37	1680	36	1728	35

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC6 (deel 9)

7.15 Periode-/frequentie-meter

1729	35	1777	34	1825	33	1873	32
1730	35	1778	34	1826	33	1874	32
1731	35	1779	34	1827	33	1875	32
1732	35	1780	34	1828	33	1876	32
1733	35	1781	34	1829	33	1877	32
1734	35	1782	34	1830	33	1878	32
1735	35	1783	34	1831	33	1879	32
1736	35	1784	34	1832	33	1880	32
1737	35	1785	34	1833	33	1881	32
1738	35	1786	34	1834	33	1882	32
1739	35	1787	34	1835	33	1883	32
1740	34	1788	34	1836	33	1884	32
1741	34	1789	34	1837	33	1885	32
1742	34	1790	34	1838	33	1886	32
1743	34	1791	34	1839	33	1887	32
1744	34	1792	33	1840	33	1888	32
1745	34	1793	33	1841	33	1889	32
1746	34	1794	33	1842	33	1890	32
1747	34	1795	33	1843	33	1891	32
1748	34	1796	33	1844	33	1892	32
1749	34	1797	33	1845	33	1893	32
1750	34	1798	33	1846	33	1894	32
1751	34	1799	33	1847	32	1895	32
1752	34	1800	33	1848	32	1896	32
1753	34	1801	33	1849	32	1897	32
1754	34	1802	33	1850	32	1898	32
1755	34	1803	33	1851	32	1899	32
1756	34	1804	33	1852	32	1900	32
1757	34	1805	33	1853	32	1901	32
1758	34	1806	33	1854	32	1902	32
1759	34	1807	33	1855	32	1903	32
1760	34	1808	33	1856	32	1904	32
1761	34	1809	33	1857	32	1905	31
1762	34	1810	33	1858	32	1906	31
1763	34	1811	33	1859	32	1907	31
1764	34	1812	33	1860	32	1908	31
1765	34	1813	33	1861	32	1909	31
1766	34	1814	33	1862	32	1910	31
1767	34	1815	33	1863	32	1911	31
1768	34	1816	33	1864	32	1912	31
1769	34	1817	33	1865	32	1913	31
1770	34	1818	33	1866	32	1914	31
1771	34	1819	33	1867	32	1915	31
1772	34	1820	33	1868	32	1916	31
1773	34	1821	33	1869	32	1917	31
1774	34	1822	33	1870	32	1918	31
1775	34	1823	33	1871	32	1919	31
1776	34	1824	33	1872	32	1920	31

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC6 (deel 10)

1921	31	1953	31	1985	30	2017	30
1922	31	1954	31	1986	30	2018	30
1923	31	1955	31	1987	30	2019	30
1924	31	1956	31	1988	30	2020	30
1925	31	1957	31	1989	30	2021	30
1926	31	1958	31	1990	30	2022	30
1927	31	1959	31	1991	30	2023	30
1928	31	1960	31	1992	30	2024	30
1929	31	1961	31	1993	30	2025	30
1930	31	1962	31	1994	30	2026	30
1931	31	1963	31	1995	30	2027	30
1932	31	1964	31	1996	30	2028	30
1933	31	1965	31	1997	30	2029	30
1934	31	1966	31	1998	30	2030	30
1935	31	1967	31	1999	30	2031	30
1936	31	1968	30	2000	30	2032	30
1937	31	1969	30	2001	30	2033	30
1938	31	1970	30	2002	30	2034	29
1939	31	1971	30	2003	30	2035	29
1940	31	1972	30	2004	30	2036	29
1941	31	1973	30	2005	30	2037	29
1942	31	1974	30	2006	30	2038	29
1943	31	1975	30	2007	30	2039	29
1944	31	1976	30	2008	30	2040	29
1945	31	1977	30	2009	30	2041	29
1946	31	1978	30	2010	30	2042	29
1947	31	1979	30	2011	30	2043	29
1948	31	1980	30	2012	30	2044	29
1949	31	1981	30	2013	30	2045	29
1950	31	1982	30	2014	30	2046	29
1951	31	1983	30	2015	30	2047	29
1952	31	1984	30	2016	30		

Tabel 4/7.15-1: EPROM-listing IC6 (deel 11)

7.15 Periode -/ frequentie - meter

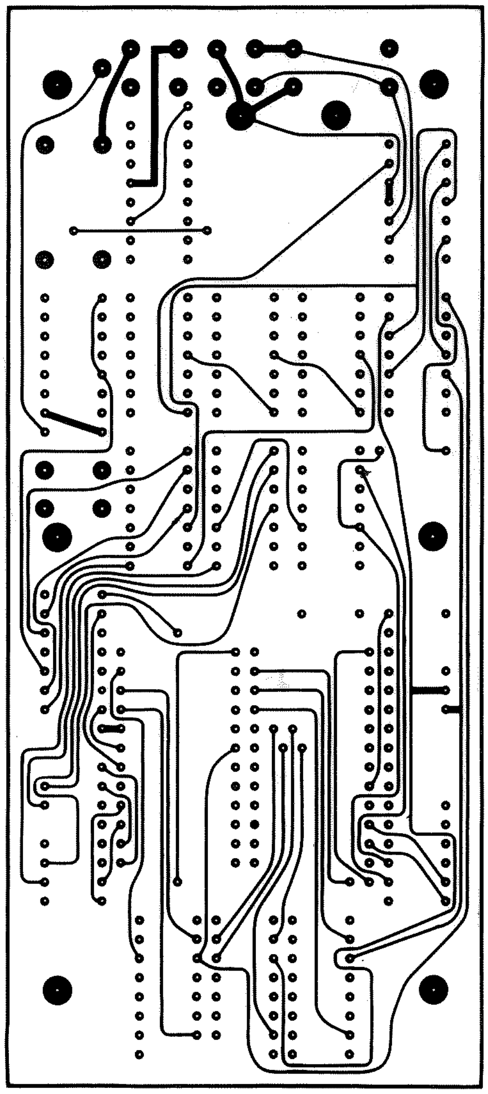


Fig. 4/7.15-4: Print layout (soldeerzijde)

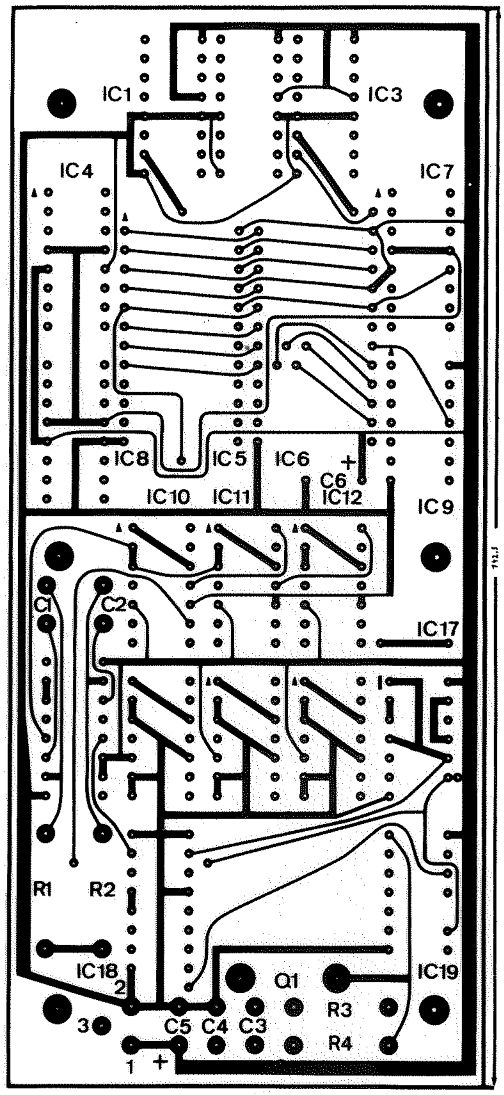


Fig. 4/7.15-5: Print Layout (componenten zijde)

4/7.16

Eenvoudige testbeeld generator

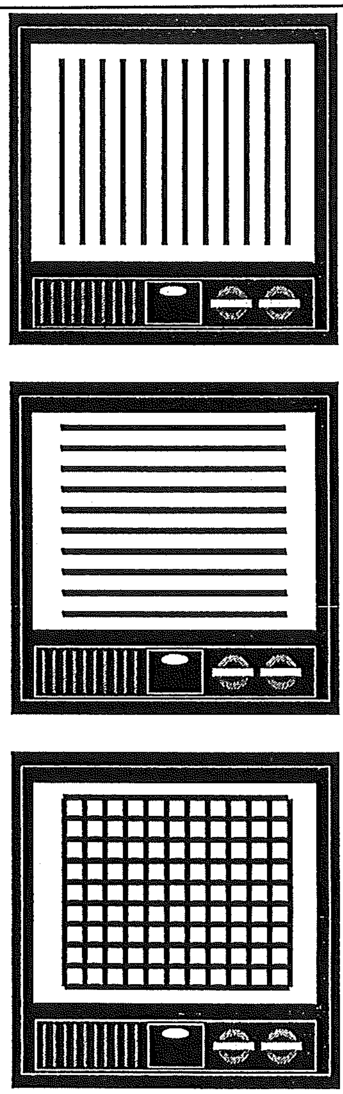
Inleiding
Met de in dit hoofdstuk beschreven eenvoudige, maar zeer betrouwbaar werkende schakeling kunnen niet alleen horizontale en vertikale lijnen op het scherm van een TV geschreven worden, maar ook een raster opgebouwd uit vertikale en horizontale lijnen, zie figuur 4/7.16-1. Met behulp van deze testbeelden is het heel eenvoudig mogelijk de convergentie en de beeldlineariteit te testen en desgewenst bij te regelen.

De uitgang van de schakeling levert een gemoduleerd signaal af in de VHF band III of in de UHF banden IV/V.

De schakeling kan gevoed worden uit het net, maar heeft een ingebouwde batterij aan boord die bij netbedrijf opgeladen wordt. Om er zeker van te zijn dat het apparaat niet per ongeluk ingeschakeld blijft na gebruik is een zeer energiezuinige LED-driver ingebouwd, die een LED'je tijdens bedrijf laat knipperen.

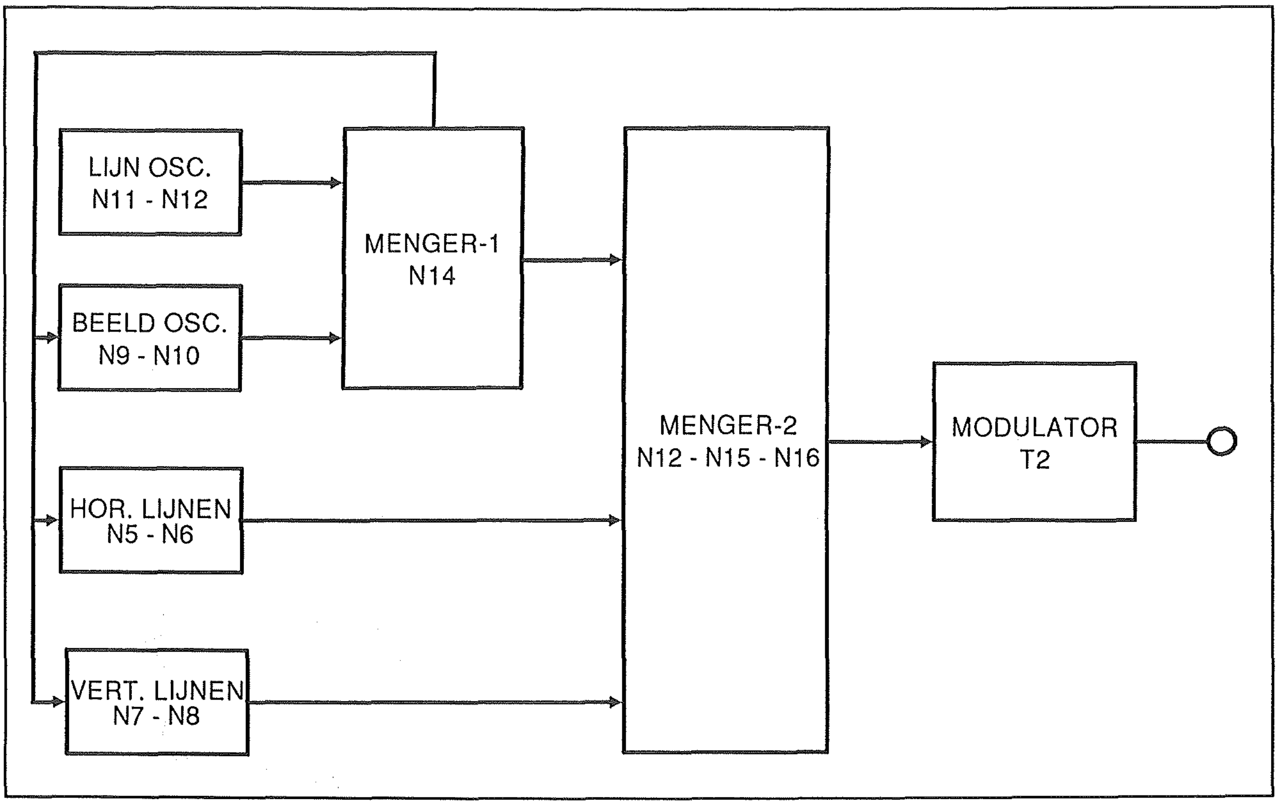
Het blokschema
Het blokschema van de schakeling is getekend in figuur 4/7.16-2.

Hart van de schakeling is de lijn oscillator, die een signaal met een frequentie van 15.625 Hz genereert. De uitgang van deze schakeling gaat naar een menger en wordt daar gemengd met de uitgang van de beeld oscillator.



Figuur 4/7.16-1: De drie testpatronen die op het scherm van de TV ontstaan.

7.16 Eenvoudige testbeeld generator



Figuur 4/7.16-2: Het blokschema van de testbeeld generator.

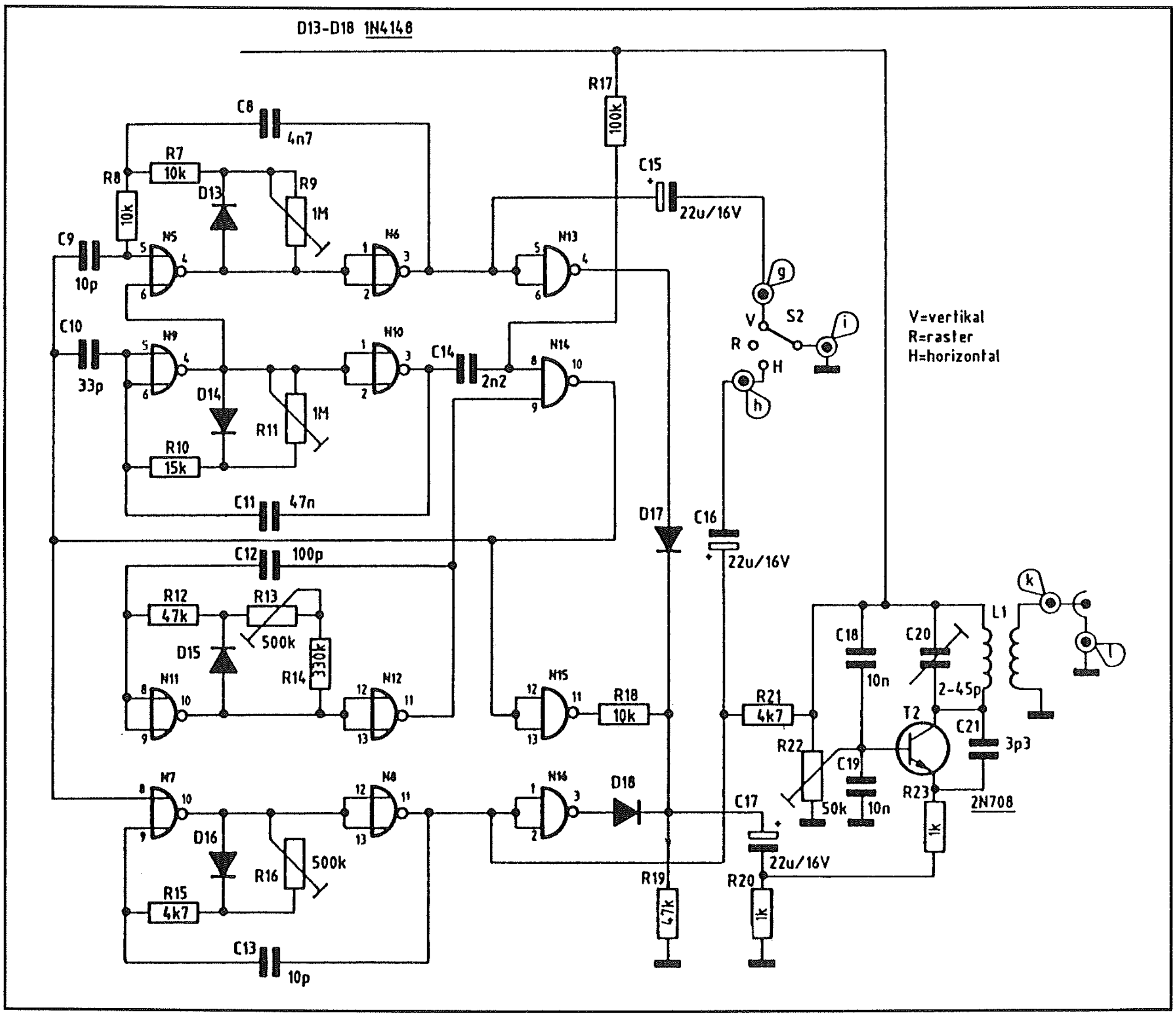
Dat is een identieke schakeling die echter een signaal met een frequentie van 50 Hz opwekt. Om er zeker van te zijn dat beide signalen synchroon verlopen wordt de uitgang van de menger gebruikt voor het synchroniseren van de beeld oscillator. De twee oscillatoren vormen dus een teruggekoppeld systeem dat er voor zorgt dat de synchronisatiepulsen steeds gesynchroniseerd ten opzichte van elkaar verschijnen.

Twee volgende oscillatoren zorgen voor het genereren van de horizontale en de vertikale lijnen op het beeld. Om een stilstaand beeld te verkrijgen is het uiteraard noodzakelijk dat ook deze signalen gesynchroniseerd worden met de lijn oscillator. Vandaar dat ook deze schakelingen gestuurd worden uit de uitgang van de menger.

De drie uitgangssignalen van de menger, de horizontale lijnen oscillator en de vertikale lijnen oscillator gaan vervolgens naar een tweede menger. In deze menger ontstaat het uiteindelijke video-signaal. Een driestanden schakelaar is aangesloten op de uitgangen van de twee onderste oscillatoren. In de middenstand heeft deze schakelaar geen invloed. In de beide uiterste standen wordt of het signaal van de horizontale lijnen oscillator of het signaal van de vertikale lijnen oscillator kortgesloten naar de massa.
Op deze wel zeer eenvoudige manier kan men een van de drie beschikbare testbeelden selecteren.

Het videosignaal gaat tot slot naar de modulator, een eenvoudige een-transistor trap, waar het videosignaal gemoduleerd wordt op de draaggolf.

7.16 Eenvoudige testbeeld generator



Figuur 4/7.16-3: Het praktische schema van de signaalopwekkende elektronica.

Het schema van de oscillatoren en de modulator

Het volledig uitgewerkte praktische schema van de signaalopwekkende delen van het apparaat is getekend in figuur 4/7.16-3.

De lijn oscillator is samengesteld uit de poorten N11 en N12. Dat is een eenvoudige astabiele multivibrator, waarvan de frequentie wordt ingesteld met behulp van de instelpotentiometer R13. De uitgang van de schakeling gaat rechtstreeks naar een ingang van de poort N14, de eerste menger.

De beeld oscillator is opgebouwd rond de poorten N9 en N10. Deze schakeling is identiek van samenstelling. Het enige verschil is dat de ingang van poort N9 via een condensator wordt aangesloten op de uitgang van de menger N14. Op deze manier wordt de synchronisatie tussen de beide signalen verzorgd. De uitgang van deze oscillator gaat via de condensator C14 naar de tweede ingang van de menger N14. Deze condensator vormt samen met

7.16 Eenvoudige testbeeld generator

de weerstand R17 een differentiator die de pulsbreedte op de juiste waarde instelt.

Ook de oscillator voor het genereren van de horizontale lijnen op het scherm is identiek van samenstelling. Deze oscillator is opgebouwd rond de poorten N5 en N6. Ook deze schakeling wordt gesynchroniseerd door het uitgangssignaal van de menger. Merk op dat de schakeling ook gestuurd wordt met een signaal uit de beeld oscillator. Dat is noodzakelijk om de terugslagtijd tussen het schrijven van twee beelden te overbruggen. Het aantal lijnen dat geschreven wordt is instelbaar door middel van de instelpotentiometer R9.
De vierde oscillator, samengesteld rond de poorten N7 en N8, zorgt voor het genereren van de vertikale lijnen op het beeld.

De uitgangssignalen van de twee laatstgenoemde oscillatoren worden via condensatoren C15 en C16 aangesloten op de twee standen van de driestanden schakelaar S2.
Via deze schakelaar worden de uitgangen kortgesloten naar de massa.
De condensatoren vormen hierbij een bepaalde kleine impedantie, die ervoor zorgt dat wel de signalen worden kortgesloten naar de massa, maar niet de spanningsniveaus op de uitgangen van de poorten.

De twee poorten N13 en N16 vormen buffers, die de signalen via de dioden D17 en D18 aanbieden aan de resistieve menger. Deze "menger" bestaat uit niets meer dan de weerstand R19. De twee dioden zorgen ervoor dat beide signalen wel gemengd over de weerstand verschijnen maar dat zij elkaar niet kunnen beïnvloeden.

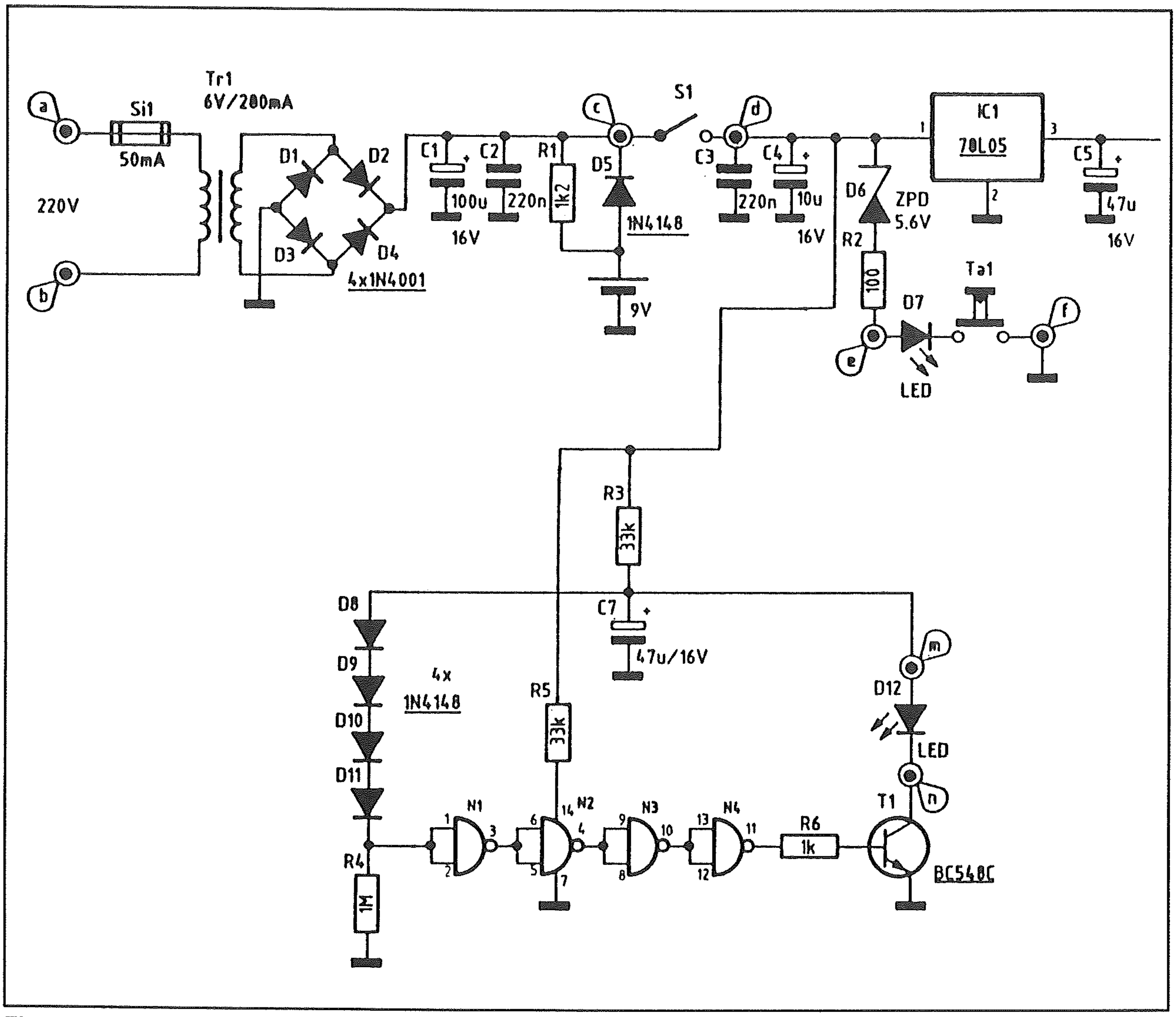
Ook het signaal van de synchronisatiemenger N14 gaat via een bufferpoort N15 naar de resistieve menger.

De modulator bestaat uit een eenvoudige HF-oscillator rond transistor T2.
Het videosignaal wordt capacitief via de condensator C17 in de emitter van de transistor ingebracht. De frequentie waarop de schakeling oscilleert is in te stellen met behulp van de condensatortrimmer C20.
Zoals gezegd kan men alle kanalen van alle traditionele banden van een TV instellen.
Het werkpunt van de oscillator wordt bepaald door de stand van de instelpotentiometer R22.
Let op dat de spoel L1 geïntegreerd is op de print, zodat men deze niet zelf hoeft te wikkelen!

De voedingsschakeling
De voedingsschakeling, getekend in figuur 4/7.16-4, is uitgebreider dan men bij een dergelijk eenvoudig apparaat zou verwachten.
Dat komt door de ingebouwde batterijvoeding en de daarvoor noodzakelijke knipper-LED schakeling.

Bij netvoeding wordt de 230 V van het net naar 6 V getransformeerd, gelijkgericht, afgevlakt en door middel van de geïntegreerde spanningsstabilisator IC1 gestabiliseerd op 5 V.
De ingebouwde NiCad batterij van 9 V wordt via de weerstand R1 voorzien van een kleine laadstroom, zodat deze batterij steeds volledig geladen blijft, ook als het apparaat niet is ingeschakeld maar wel met het net verbonden is.
De AAN/UIT schakelaar S1 staat immers na de batterij!

7.16 Eenvoudige testbeeld generator



Figuur 4/7.16-4: De schakeling van de voeding en de knipper-LED besturing.

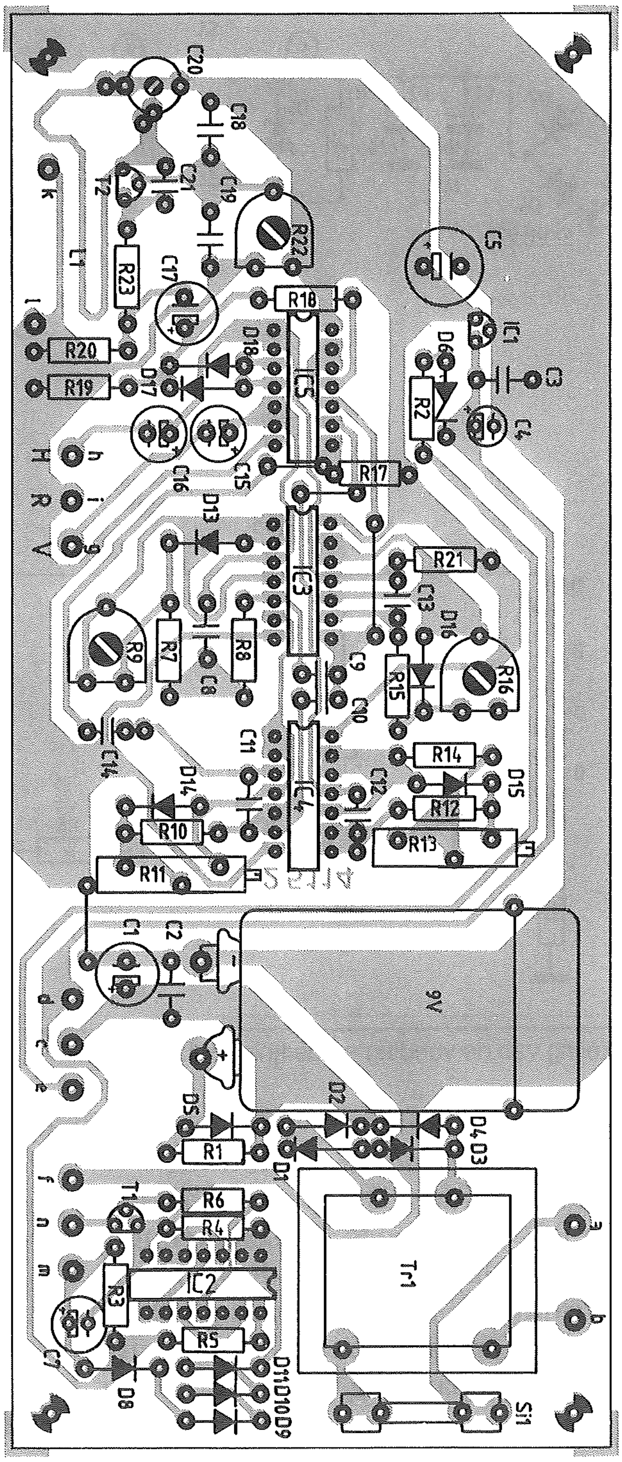
Zet men deze schakelaar op AAN zonder dat het apparaat met het net verbonden is, dan zal de batterij via de diode D5 stroom gaan leveren. De 9 V wordt weer gestabiliseerd op 5 V door de stabilisator IC1. Door het even indrukken van de drukschakelaar Ta1 kan men constateren of de batterij nog voldoende spanning levert.

Om er zeker van te zijn dat men het apparaat uit zet als men het niet meer nodig heeft, is rond de vier poorten N1 tot en met N4 een spaarzame LED-driver opgebouwd.

Als schakelaar S1 op AAN staat wordt deze schakeling gevoed uit de ongestabiliseerde spanning. De condensator C7 kan nu gaan opladen via de weerstand R3. Door het stijgen van deze spanning over de condensator zal ook de spanning op de ingang van de eerste poort langzaam gaan stijgen.

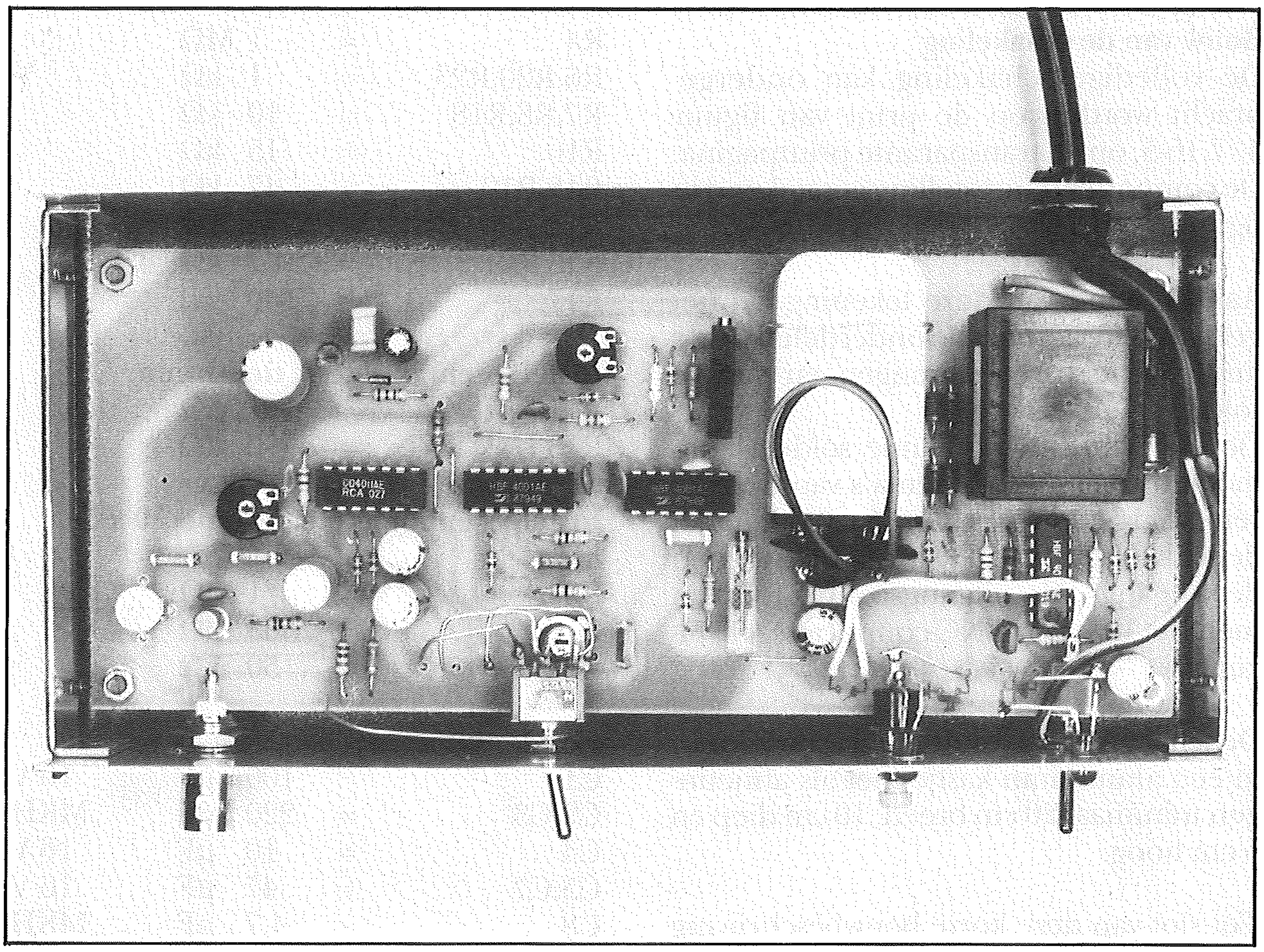
Op een bepaald moment bereikt deze spanning de omschakeldrempel van de poort.

7.16 Eenvoudige testbeeld generator



Figuur 4/7.16-6: De componentenopstelling van de testbeeld generator.

7.16 Eenvoudige testbeeld generator



Figuur 4/7.16-7: Het compleet gemonteerde proto-type van de testbeeld generator.

De uitgang van de eerste poort wordt dus "L" en dit signaal wordt drie keer geïnverteerd door de volgende poorten.
Het gevolg is dat de uitgang van de vierde poort "H" wordt. Dit hoge signaal stuurt via de weerstand R6 de transistor T1 in geleiding.
Het gevolg is dat de LED D12 met de massa verbonden wordt en gaat geleiden.
De LED staat nu echter rechtstreeks over de condensator C7 geschakeld.
Het gevolg is dat de condensator met een grote piekstroom door de LED wordt ontladen.
De LED genereert dus een korte, maar intense lichtflits.

Het ontladen van de condensator C7 heeft tot gevolg dat de spanning op de ingang van de eerste poort naar "L" gaat.
Ook dit signaal wordt drie keer geïnverteerd, zodat op de uitgang van de vierde poort een "L" staat.
Het gevolg is dat de transistor T1 gesperd wordt en dat de LED niet meer gestuurd wordt. De condensator C7 kan nu weer via weerstand R3 opladen, het proces herhaalt zich.
Deze schakeling heeft als groot voordeel dat de gemiddelde stroomopname slechts 0,2 mA (!) bedraagt, terwijl de lichtflitsen die de LED opwekt toch goed zichtbaar zijn.

7.16 Eenvoudige testbeeld generator

Bouw van de schakeling
De volledige schakeling kan ondergebracht worden op de print van figuur 4/7.16-5, op de transparante printpagina. De componentenopstelling is getekend in figuur 4/7.16-6.

Aan de hand van deze tekening zal het geen moeite kosten alle onderdelen op de juiste plaats aan te brengen en vast te solderen.
De met letters aangeduide soldeerlipjes moeten volgens de schema's van de figuren 4/7.16-3 en -4 verbonden worden met de schakelaars, de LED's, het netsnoer en de uitgang. Als uitgangsconnector kan men het best een BNC-connector gebruiken.

De schakeling kan ondergebracht worden in een aluminium kastje met als afmetingen minimaal 20 cm breed, 10 cm diep en 5 cm hoog.

Tot slot van deze korte bouwbeschrijving wordt verwezen naar de foto van figuur 4/7.16-7, waar een indruk wordt gegeven van het volledig afgebouwde proto-type, voordat het kastje werd gesloten.

Opmerking
De 16 in het schema vermelde poorten zijn als volgt aan de IC's toegekend:
- IC2: N1, N2, N3, N4;
- IC3: N5, N6, N7, N8;
- IC4: N9, N10,N11, N12;
- IC5: N13, N14, N15, N16.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W, 5 %:

R1	=	1,2	kΩ
R2	=	100	Ω
R3,R5	=	33	kΩ
R4	=	1	MΩ
R6,R20,R23	=	1	kΩ
R7,R8,R18	=	10	kΩ
R10	=	15	kΩ
R12,R19	=	47	kΩ
R14	=	330	kΩ
R15,R21	=	4,7	kΩ
R17	=	100	kΩ

Instelpotentiometers, tienslagen:

R11	=	1	MΩ
R13	=	500	kΩ

Instelpotentiometers, liggend 10 x 5 mm:

R9	=	1	MΩ
R16	=	500	kΩ
R22	=	50	kΩ

Condensatoren:

C1	=	100	µF	16 V
C2,C3	=	220	nF	MKH
C4	=	10	µF	16 V
C5,C7	=	47	µF	16 V
C8	=	4,7	nF	MKH
C9,C13	=	10	pF	ceramisch
C10	=	33	pF	ceramisch
C11	=	47	nF	MKH
C12	=	100	pF	ceramisch
C14	=	2,2	nF	MKH
C15,C16,C17	=	22	µF	16 V
C18,C19	=	10	nF	MKH
C20	=	2/45	pF	trimmer
C21	=	3,3	pF	ceramisch

Halfgeleiders:

D1,D2,D3,D4	=	1N4001
D5,D13,D14,D15, D16,D17,D18	=	1N4148
D6	=	5,6 V zener
D7,D12	=	LED 5 mm rood
T1	=	BC548
T2	=	2N708
IC1	=	78L05

7.16 Eenvoudige testbeeld generator

IC2,IC5	=	CD4011B
IC3,IC4	=	CD4001B

Diversen:

S1	=	tuimelschakelaar, 1 x OM
S2	=	tuimelschakelaar, driestanden
Ta1	=	drukschakelaar, MAAK
Tr1	=	220 V / 6 V trafo, 280 mA

1 x printzekeringhouder
1 x zekering 50 mA
1 x 9 V NiCad batterij
1 x batterijhouder
15 x printsoldeerlipje
1 x netsnoer met aangegoten steker
1 x BNC chassisdeel

Het afregelen van de schakeling
Vóór het verbinden met de netspanning worden alle instelpotentiometers en de condensatortrimmer in de middenstand gedraaid.
Nadien wordt de uitgang met de antenne-ingang van een TV verbonden en het apparaat ingeschakeld.

Het afregelen gaat in de volgende logische stappen:

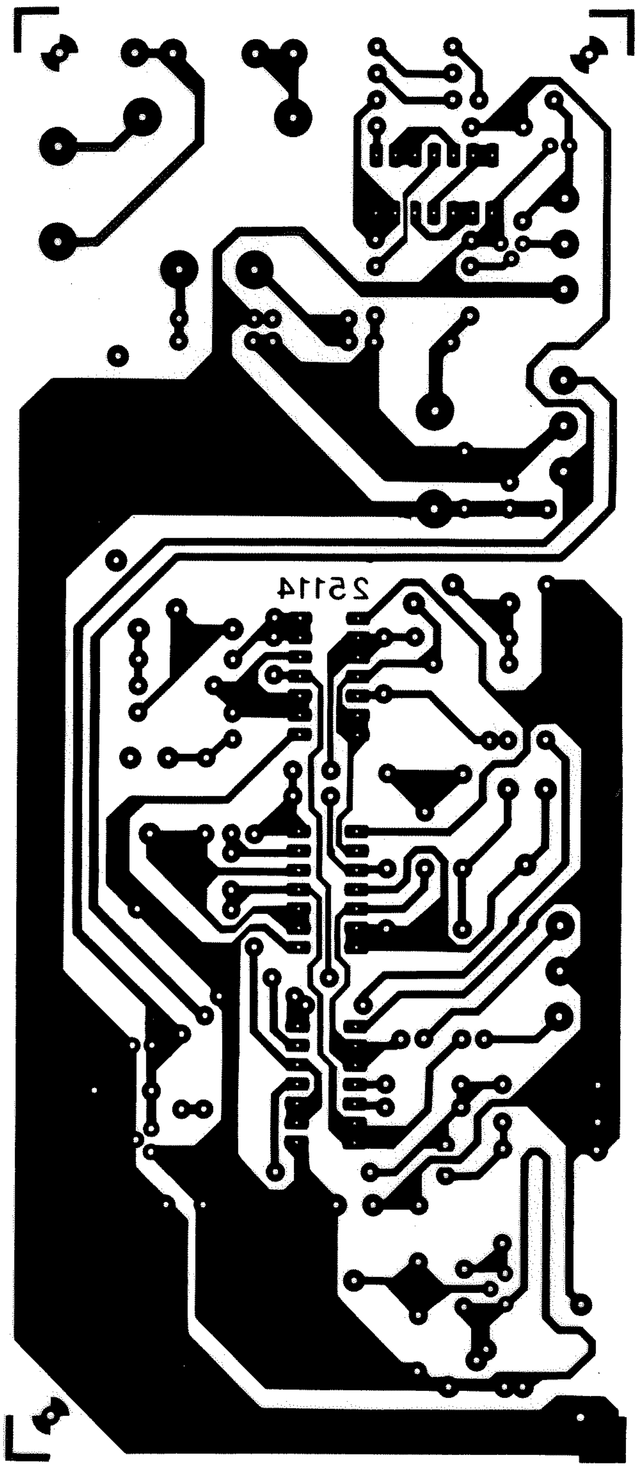
- zoek de draaggolf op door het afstemmen van de TV;
- verdraai de instelpotentiometers R11 en R13 tot er een stilstaand, goed gesynchroniseerd beeld ontstaat;
- verdraai de trimmercondensator om de frequentie van de draaggolf precies af te stemmen op het door de TV ontvangen kanaal;
- stel met de instelpotentiometers R9 en R16 het aantal horizontale en vertikale lijnen in op het beeld;
- verdraai de instelpotentiometer R22 totdat het beeld een maximaal contrast en lijnscherpte heeft.

Nadat de schakeling is afgeregeld kan de metalen kast dicht geschroefd worden en is het apparaat klaar voor gebruik.

Bouwpakket
Als extra service aan de nabouwers van deze schakeling kan nog vermeld worden dat deze schakeling in diverse onderdelenzaken als compleet bouwpakket te koop is. De samenstelling van dit bouwpakket wordt verzorgd door de Firma Binell B.V., Postbus 83, 7440 AB Nijverdal, telefoon 05486 - 17475. Op dit adres kan men alle nodige informatie krijgen over prijzen en verkoopadressen.

7.16 Eenvoudige testbeeld generator

7.16 Eenvoudige testbeeld generator



Figuur 4/7.16-5: De print van de schakeling.

4/7.17 Vier en half decade digitale universeelmeter

De in deze paragraaf beschreven digitale meter is een zeer universeel en zeer nauwkeurig instrument dat enige extra's biedt die slechts in de duurste commerciële apparaten worden aangetroffen.
Naast de standaard meetbereiken voor gelijkspanning en gelijkstroom, wisselspanning en wisselstroom en weerstand biedt deze meter:
- geïntegreerde temperatuurmeting, zowel in °C als in °F met een resolutie van 0,01 °;
- berekening van de echte effectieve waarde van complexe wisselspanning en -stroom signalen en dit vanaf 10 Hz tot ongeveer 250 kHz;
- een extra 10 A ingang voor gelijk- en wisselstroom;
- naar keuze voeding uit ingebouwde nikkel-cadmium accumulatoren of netstekervoeding, met ingebouwde laadschakeling;
- ingebouwde temperatuursgecompenseerde nauwkeurige spanningsreferentie en temperatuursgecompenseerde ingangsverzwakker.

In principe is het mogelijk het apparaat af te regelen tot op een basisnauwkeurigheid van 0,05% op het DC-bereik. Men moet dan natuurlijk wel kunnen beschikken over een standaard spannings-referentie! De schakelingen zijn ondergebracht op drie printen, waarvan twee dubbelzijdig zijn uitgevoerd en indien mogelijk doorgemetalliseerd worden.

Uit het voorgaande zal wel duidelijk zijn geworden dat de nabouw van deze meter niet wordt aanbevolen aan absolute leken. Enige ervaring in het zelf bouwen van ingewikkelde elektronische schakelingen zal toch wel noodzakelijk zijn, wil men dit projekt tot een goed einde brengen.

De specificaties van de meter
In het kort worden nu de verschillende eigenschappen van dit apparaat besproken.

- gelijkspanningen:

bereik	afwijking
1,9999 V	0,04 % ± 1 digit
19,999 V	0,04 % ± 2 digit
199,99 V	0,04 % ± 2 digit
1000,0 V	0,04 % ± 2 digit

hoewel men in het laatste bereik in principe tot 2 kV kan meten wordt toch niet aanbevolen grotere spanningen dan 1000 V aan te sluiten.
ingangsweerstand: 10 MΩ ± 0,1 %

- wisselspanningen:

bereik	afwijking tot 10 kHz	tot 40 kHz	tot 250 kHz
1,9999 V	0,35 % + 15 digits	0,35 % + 15 digits	3 dB
19,999 V	0,35 % + 15 digits	1,00 % + 15 digits	3 dB
199,99 V	0,35 % + 15 digits	1,00 % + 15 digits	3 dB
1000,0 V	0,35 % + 15 digits	2,00 % + 15 digits	3 dB

de schakeling berekent de echte effectieve waarde van signalen tot een maximale crest-factor van 3.
ingangsimpedantie: 10 MΩ # 80 pF

- gelijkstromen:

bereik	afwijking
1,9999 mA	0,6 % ± 2 digits
19,999 mA	0,6 % ± 2 digits
199,99 mA	0,6 % ± 2 digits
1,9999 A	0,6 % ± 2 digits
10,000 A	0,6 % ± 2 digits

maximaal spannings-verlies over de meter: 1,9999 V

- wisselstromen:

bereik	afwijking tot 10 kHz	afwijking tot 40 kHz
1,9999 mA	1 % + 2 digits	1,5 % + 2 digits
19,999 mA	1 % + 2 digits	1,5 % + 2 digits
199,99 mA	1 % + 2 digits	1,5 % + 2 digits
1999,9 mA	1 % + 2 digits	1,5 % + 2 digits
10,000 A	1 % + 2 digits	1,5 % + 2 digits

maximaal spanningsverlies over de meter: 1,9999 V
maximale crest-factor: 3

- weerstanden:

bereik	afwijking hoog	afwijking laag
1,9999 kΩ	±0,05 % + 1 digits	±0,10 % + 15 dig.
19,999 kΩ	±0,05 % + 1 digits	±0,10 % + 15 dig.
199,99 kΩ	±0,05 % + 1 digits	±0,10 % + 15 dig.
1999,9 kΩ	±0,10 % + 1 digits	±0,15 % + 15 dig.
19,999 MΩ	±0,30 % + 2 digits	±0,30 % + 15 dig.

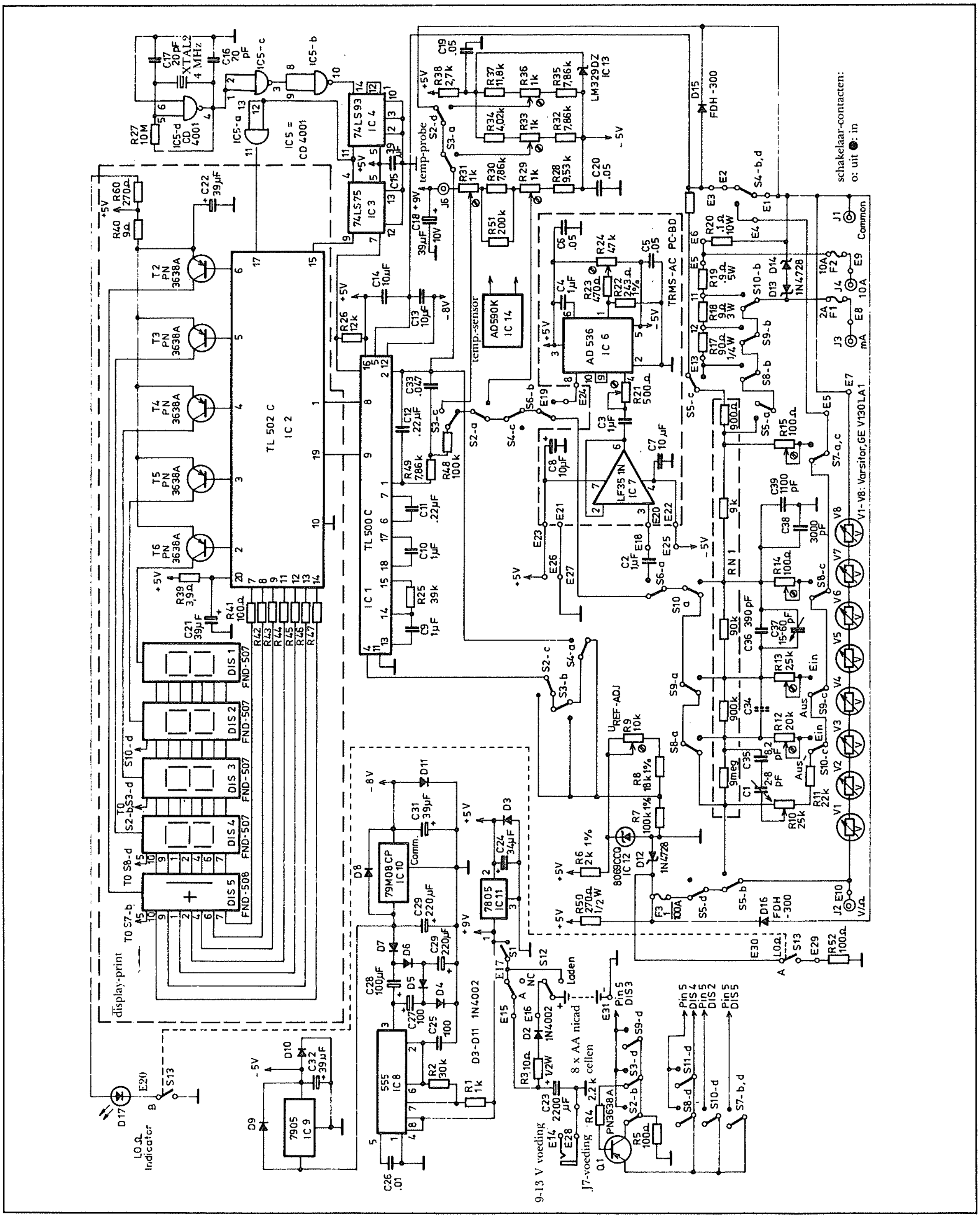
meet-spanning: hoog: 1,5 V; laag: 0,5 V
omschakelbaar met schakelaar, LO-Ω indicatie met LED
maximale ingangsspanning: 150 V DA + AC
insteltijd: 2 s tot ± 1 digit, 10 s in 10 MΩ bereik

- temperaturen
bereik: - 50 tot + 150 °C
- 67 tot + 199,99 °F
resolutie: 0,01 °
nauwkeurigheid: ±0,5 °C; ±0,9 °F

- algemeen
uitlezing: vijf rode LED-display's
meettijd ADC: 0,1664 s
voeding: +9 V, 300 mA
batterijen: 8 x AA NiCad, 2 uur meettijd bij volle cellen, oplaadtijd ongeveer 12 uur.

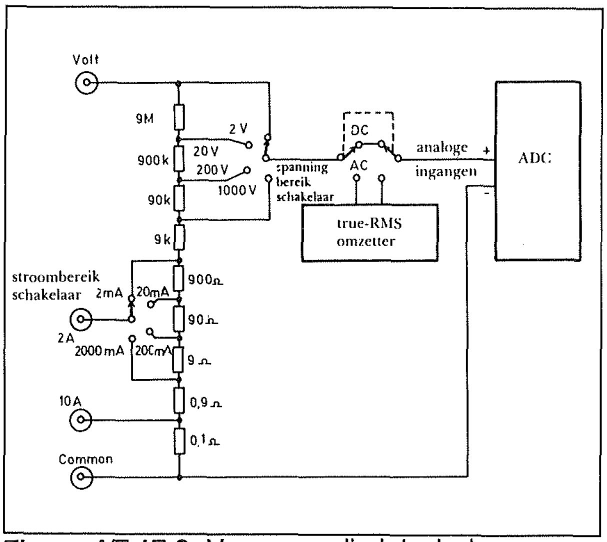
De analoog naar digitaal omzetter
Het apparaat is uitgerust met een van de modernste geïntegreerde ADC's, namelijk het type TL 500 van Texas Instruments. Dit IC werkt samen met de TL 502, die de besturing van het systeem en de digitale teller + besturing van de uitlezing verzorgt.
De IC's werken volgens het principe van de dual slope integratie. De principiële werking wordt hier niet besproken, er wordt verwezen naar hoofdstuk 3/8.2.1. Naast de basis-functies is dit stel IC's voorzien van:
- zeer hoogohmige differentiële ingangen;
- automatische nulpunt-correctie;
- automatische polariteits-indicatie;
- automatische overbereik-indicatie.

7.17 Digitale universeelmeter



Figuur 4/7.17-1: Volledig schema van de vier en half decade digitale universeelmeter.

Het praktische schema rond deze twee IC's wordt besproken aan de hand van het volledige schema van de meter, getekend in figuur 4/7.17-1. De eigenlijke analoog naar digitaal omzetter bevindt zich hoofdzakelijk in de rechter bovenhoek van het schema. Hoewel de TL 502 een ingebouwde klok-oscillator heeft wordt gebruik gemaakt van een kristalgestuurde externe oscillator. Het 4 MHz kristal is opgenomen in een standaard oscillator-schakeling rond één poort van de CD 4001 viervoudige NAND. Het signaal wordt nadien tweemaal gebufferd en aangeboden aan de ingang van een 16-deler 74 TL 93. De kristalfrequentie wordt gedeeld tot 250 kHz. Dit signaal vormt de eigenlijke klok-frequentie van de ADC. Door middel van deze kristalsturing is men er zeker van dat de klokfrequentie harmonisch is ten opzichte van de 50 Hz van het het, zodat de onderdrukking van symmetrische of asymetrische brom-spanningen op de te meten spanning maximaal is. De flip-flop IC 3 wordt gebruikt om de schakeling te beschermen tegen foutieve comparator-pulsen die door stoorpulsen zouden kunnen ontstaan. De TL 500 is uitgerust met een interne referentie-spanning. De nauwkeurigheid van deze bron is echter niet groot genoeg om de eigenschappen van de TL-combinatie ten volle tot hun recht te laten komen. Vandaar dat een externe referentie wordt gebruikt, samengesteld uit een speciaal temperatuurgecompenseerd IC 8069 CCQ van Intersil (IC12). Dit is een 1,2 V referentie, voor de eigenschappen wordt verwezen naar hoofdstuk 6/6.19.2, waarin dit IC uitvoerig wordt besproken. Weerstand R6 begrenst de stroom door de referentie tot 2 mA, de weerstanden R7, R8 en R9 vormen een over de referentie geschakelde spanningsdeler, waarmee men een referentiespanning van precies 1,0000 V kan afleiden, die wordt aangeboden aan de referentie-ingang van de TL 500. De condensatoren C9 en C10 zijn de integratie- en nulpuntcorrectie-condensatoren en mogen in geen geval vervangen worden door elco's of tantaal-condensatoren!

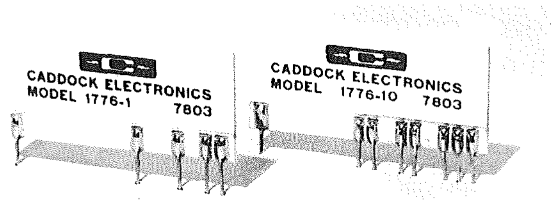


Figuur 4/7.17-2: Vereenvoudigd deelschema van de ingangsschakeling voor het meten van spanningen en stromen.

Het meten van spanningen en stromen

De (vereenvoudigde) schakeling voor het meten van spanningen en stromen is getekend in figuur 4/7.17-2. De ingangsdeler is uit negen in serie geschakelde weerstanden samengesteld, die zowel dienen voor het delen van de ingangsspanning als voor het omzetten van de te meten stroom in een ermee evenredige spanning. De vijf grootste

weerstanden zitten in een speciale referentieweerstandsdeler die door de firma Caddock Electronics voor dit doel op de markt wordt gebracht. De in deze hybride aanwezige weerstanden hebben een tolerantie van 0,1% en een uitstekende temperatuurscoëfficiënt. Deze hybrides (zie figuur 4/7.17-3) worden in Nederland in de handel gebracht door de firma Elincom uit Stadskanaal.



Figuur 4/7.17-3: Weerstandsnetwerken van Caddock, zoals gebruikt in deze meter in de ingangsdeler.

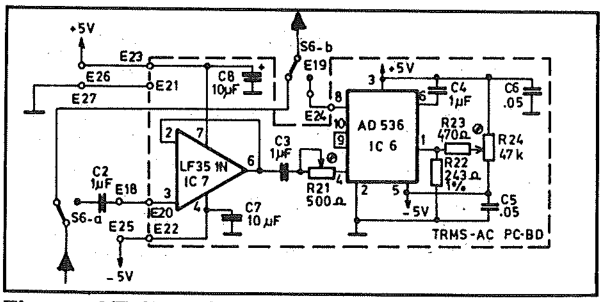
De vier laagste weerstanden van de deler zijn diskreet en men doet er goed aan op zoek te gaan naar de speciale door Dale Electronics geproduceerde 0,1% weerstanden. Deze bevinden zich in het pakket van de firma De Windmolen (Enschede), maar men moet er wel rekening mee houden dat deze onderdelen ongeveer *f* 7,00 per stuk kosten! Maar dit is de enige mogelijkheid om de basis-nauwkeurigheid van de TL-combinatie voor de gehele meter te handhaven.
Voor het meten van spanningen reduceert de spanningsdeler zich in wezen tot vier weerstanden: 9 MΩ, 900 kΩ, 90 kΩ en 10kΩ. Deze laatste weerstand is samengesteld uit de serieschakeling van 9 kΩ + 900Ω + 90Ω + 9Ω + 0,9Ω + 0,1Ω. Voor de verschillende standen van de bereikschakelaar geldt dus een 1/9, 1/99 of 1/999 verhouding, zodat de spanning aan de ingang respectievelijk tot 1/10, 1/100 of 1/1000 wordt gereduceerd. Bij het meten van gelijkspanningen gaat het moedercontact van de bereikschakelaar rechtstreeks naar de ingang van de ADC. Deze schakeling heeft een zo goed als oneindig hoge ingangsweerstand en de spanningsdeler wordt dus niet belast.

Bij het meten van stromen wordt de stroom door een sensor-weerstand gestuurd van respectievelijk 1 kΩ, 100Ω, 10Ω en 0,1Ω. De spanning die over deze weerstand ontstaat is volgens de wet van Ohm recht evenredig met de stroom door de weerstand. De spanningsval wordt via de hogere weerstanden van de spanningsdeler aan de ingang van de TL 500 aangeboden. Omdat dit IC een zo goed als oneindig hoge weerstand heeft is dit geen probleem.
Het toegepaste systeem heeft als groot voordeel dat de te meten stroom wel door de contacten van de bereikschakelaar vloeit, maar dat de overgangsweerstand van deze contacten (en de spanningsval die daarover ontstaat) geen invloed heeft op het meetresultaat. Een derde segment van de bereikschakelaar (niet getekend in figuur 4/7.17-2) wordt gebruikt voor het omschakelen van de decimale punt in de uitlezing.

Voor het meten van wisselspanningen en -stromen wordt uiteraard dezelfde spanningsdeler gebruikt. Om de invloed van paracitaire capaciteiten te compenseren moet de deler echter overbrugd worden door condensatoren. Deze treft men aan in het algeme-

ne schema en deze onderdelen zorgen ervoor dat de deler zich capacitief net zo gedraagt als resistief. Helaas is het niet mogelijk deze capacitieve deler volledig met vaste condensatoren uit te voeren. Over de hoogste weerstand van de deler moet een trimmertje komen en dit onderdeel moet worden afgeregeld op maximale doorlaatband.

Natuurlijk moet men de gemeten wisselspanning of -stroom omzetten in een gelijkspanning. De schakeling die voor deze gelijkrichting verantwoordelijk is in getekend in figuur 4/7.17-4.



Figuur 4/7.17-4: De true-RMS omzetter is samengesteld uit een buffer en een speciaal IC.

Het woord gelijkrichting zou eigenlijk tussen aanhalingstekens moeten staan, want bij deze meter wordt gebruik gemaakt van een echte RMS-convertor. De aan de ingang aanwezige wisselspanning wordt omgezet in de echte effectieve waarde, hoe ook de vorm van de wisselspanning is. Het is in dit kader misschien nuttig even dieper in te gaan op de betekenis van het begrip 'effectieve waarde". De effectieve waarde van een wisselspanning geeft in feite de equivalente waarde van een gelijkspanning aan, die in een zuiver ohmse belasting hetzelfde vermogen opwekt als de wisselspanning. Voor zuiver sinusvormige spanningen bestaat er een eenvoudige formule voor het omzetten van de amplitude-waarde in de effectieve waarde:

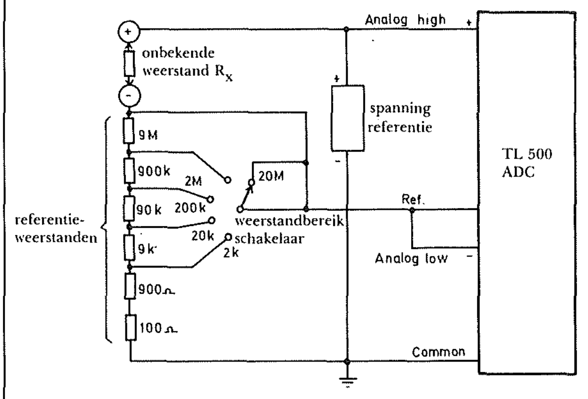
$$U_{eff} = 0{,}707 \cdot U_{max}$$

Voor het meten van de effectieve waarde van een zuivere sinus kan men dus gebruik maken van een eenvoudige top-gelijkrichter en nadien de factor 0,707 instellen door middel van een potentiometertje. Voor anders gevormde spanningen, zoals driehoeken, zaagtanden, etc. gelden echter heel andere verbanden tussen de topwaarde en de effectieve waarde. Als men dus met zo'n meter de effectieve waarde van een zaagtand zou meten zou het resultaat volledig foutief zijn, omdat zo'n meter met de standaard factor 0,707 voor sinussen werkt!
Het verband tussen de (opgelet!) top tot top waarde van een periodiek signaal en de effectieve waarde wordt aangegeven door de crest-factor.
Het zal duidelijk zijn dat de crest-factor voor een sinus gelijk is aan 1,414 (2 x 0,707). Voor een zuivere driehoek bedraagt de crest-factor 1,732, voor een mooie symmetrische blok 1. Kent men dus de crest-factor van een bepaalde spanningsvorm en is men in staat de echte effectieve waarde te meten, dan kan men de top-waarde van dit signaal snel berekenen zonder daarvoor gebruik te moeten maken van een oscilloscoop.
De in deze paragraaf beschreven meter berekent dank zij een speciaal en vrij duur IC (*ƒ* 100,00!) de effectieve waarde van alle periodieke signalen, waarvan de crest-factor kleiner is dan

3. Dat speciale IC is de AD 536 van Analog Devices en dit IC kan worden geleverd door Sciltronics te Leeuwarden. Dit IC is dan ook het hart van de AC/DC omzetter getekend in figuur 4/7.17-4. De wisselspanning waarvan de effectieve waarde berekend moet worden, wordt aangesloten aan pen 4. Deze ingang is echter tamelijk laagimpedant en men kan het moedercontact van de bereikschakelaar niet rechtstreeks met het IC verbinden. De deelverhouding zou door het parallel schakelen van de lage ingangsimpedantie van het IC volledig verstoord worden. Vandaar dat een operationele versterker IC7 als buffer wordt voorgeschakeld.
De eventuele offset-fout van dit IC wordt uitgeschakeld door tussen de uitgang van de buffer en de ingang van de RMS-omzetter (RMS is de Engelse benaming van effectieve waarde) een grote condensator te plaatsen. Ook bij deze schakeling geldt dat men de 1 μF condensatoren C2 en C3 niet door elco's of tantaaltjes mag vervangen. De instelpotentiometer R21 dient voor het fijn afregelen van het IC. Hoewel de AD 536 laser-getrimd is en dus op zich al zeer nauwkeurig werkt kan men door dit trimmertje de nauwkeurigheid van de wisselspanning- en stroombereiken optimaliseren. Men moet dan echter wel de beschikking hebben over een geijkte wisselspanningsbron of een andere geijkte vier en half decade meter met "true-RMS" wisselspanningsmeting.
Met de instelpotentiometer R24 kan men de offset van de AD 536 compenseren. Zoals uit het schema van figuur 4/7.17-2 blijkt wordt de true-RMS schakeling bij het meten van wisselgrootheden simpelweg tussen het moedercontact van de bereikenschakelaar en de ingang van de TL 500 geschakeld.

Het meten van weerstanden

Het basis-schema voor het meten van weerstanden is getekend in figuur 4/7.17-5.



Figuur 4/7.17-5: Het principe dat wordt toegepast voor het meten van weerstanden.

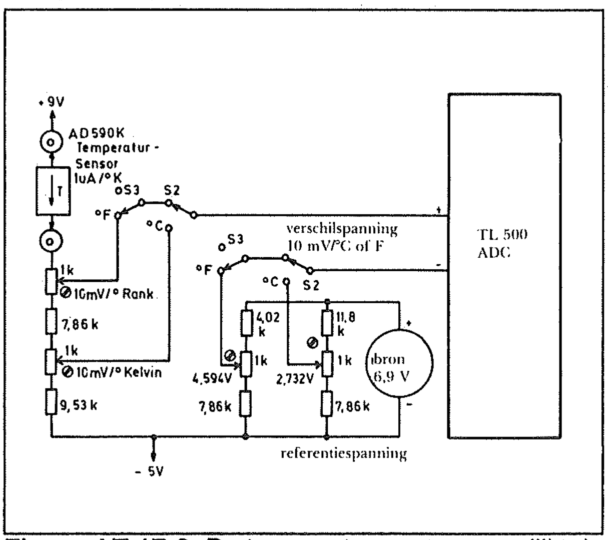
In principe beschikt de TL 500 over twee stel analoge ingangen, namelijk de eigenlijke meetingangen en de referentie-ingang. Bij een meting wordt de spanning op de meetingang vergeleken met de spanning op de referentie-ingang. Van deze eigenschap wordt gebruik gemaakt bij het meten van weerstanden.
De te meten weerstand R_X is in serie geschakeld met een bekende referentie-weerstand en deze serie-schakeling is verbonden met een spanningsreferentie en met de analoge HI-ingang van de TL 500. De referentie-ingang van het IC is, samen met de LO-ingang aangesloten op het knooppunt

tussen bekende en onbekende weerstand. De R_X vormt met de referentieweerstand een spanningsdeler, de spanning op het knooppunt is dus afhankelijk van de verhouding tussen R_X en de referentie weerstand. Deze spanning wordt door het IC vergeleken met de totale spanning over de serieschakeling en het gevolg is dat de meter rechtstreeks de waarde van de onbekende weerstand aanduidt. Het zal duidelijk zijn dat men voor de referentie-weerstanden de 0,1 % weerstanden van de spanningsdeler gebruikt. Omdat de referentie-ingang van het IC echter geen oneindig hoge ingangsweerstand heeft moet men echter toch instelpotentiometertjes in de schakeling opnemen. Dit zijn R10, R12, R13, R14 en R15.

Omdat dit meet-procédé werkt met spanningsvergelijking is de exacte waarde van de referentie-spanning niet belangrijk. Van deze eigenschap wordt gebruik gemaakt om twee referentie-spanningen te gebruiken die door middel van schakelaar S13 om te schakelen zijn. In de ene stand (HI) levert de meter ongeveer 1,5 V aan de weerstand die gemeten wordt, in de andere stand (LO) slechts ongeveer 0,5 V. Men kan dus zowel werken met een spanning die dioden en basis-emitter overgangen open stuurt (HI) als met een spanning die dioden en transistoren in sper houdt (LO). Omdat het voor de interpretatie van een weerstandsmeting in een schakeling zeer belangrijk is om te weten of met hoge dan wel lage spanning wordt gemeten is een extra LED op het frontpaneel aangebracht die gaat branden in de LO-stand. Het omschakelen van de referentie-spanning gebeurt op de meest eenvoudige manier. In de LO-stand wordt een grote belasting (R52) over de zenerdiode D12 geschakeld, waardoor de normale zenerspanning van ongeveer 3,3 V in elkaar stort.

Het meten van temperaturen

De schakeling voor het meten van temperaturen is getekend in figuur 4/7.17-6. Natuurlijk heeft men daarvoor een sensor nodig. Deze sensor bestaat bij deze schakeling uit een temperatuurafhankelijke stroombron van het type AD 590 K (Analog Devices) en wordt aangesloten op de bus J6. Deze schakeling genereert een stroom die constant is, maar volgens een 1 μA per graad Kelvin wet afhankelijk is van de omgevingstemperatuur.



Figuur 4/7.17-6: De temperatuurmeter vergelijkt de spanning die door de stroom uit de sensor over enige weerstanden wordt opgewekt met een offset.

Zoals men weet komt het absolute nulpunt van -273,2 °C overeen met 0 °K. De stroom die de sensor levert wordt door de weerstanden R28, R29, R30 en R31 omgezet in een spanning. De

uitgangsspanning van weerstand R29 voldoet aan een 10 mV per °R wet. De R-schaal begint bij het absolute nulpunt, maar volgt nadien een Fahrenheit indeling. Om deze schaal om te zetten in °C of °F moet men in het eerste geval een offsetspanning van 2,732 V bij de basis Kelvin schaal optellen en in het tweede geval een offsetspanning van 4,594 V bij de R-schaal. Deze offsetspanningen worden gegenereerd door twee instelbare spanningsdelers aan te sluiten over een 6,9 V referentie (IC13). De HI-ingang van de TL 500 wordt aangesloten op de R- of K-uitgang van de stroom naar spannings omzetter, de LO ingang op de offset. Op deze manier berekent de schakeling automatisch het spanningsverschil.

De voeding van de digitale meter

Omdat een batterij-optie is ingebouwd, is de voeding van de meter tamelijk ingewikkeld. De operationele versterkers en enige hulpschakelingen hebben immers een negatieve spanning nodig en deze wordt door middel van een generatortje afgeleid uit de batterijspanning. Het schema van de voeding treft men in de linker onderste helft van het algemene schema aan. De spanning van de batterij of van de externe +9 tot +13 V voeding wordt door een stabilisator IC11 op +5 V gestabiliseerd. Deze spanning wordt gebruikt voor het voeden van de digitale schakeling, de TL 502 en de uitlezing. Omdat het stroomverbruik vrij hoog is (200 mA) moet deze stabilisator voorzien worden van een koellichaam. Op de ongestabiliseerde spanning is een 555 timer aangesloten (IC8), geschakeld als astabiele multivibrator. Deze wekt een blokspanning op met een frequentie van ongeveer 20 kHz en deze blokspanning wordt door middel van een diode-clamp en een spanningsverdubbelaar (D4, D5, D6, D7) omgezet in een ongestabiliseerde spanning van ongeveer - 11 V. Twee negatieve stabilisatoren genereren uit deze ongestabiliseerde spanning de -8 V voor het voeden van de analoge processor TL 500 en de -5 V voor het voeden van de operationele versterker, de true-RMS convertor en nog enige hulp-kringen.

Beveiligingsschakelingen

Het ontwerpen van een goede digitale universeelmeter is een, er voor zorgen dat deze meter de harde dagelijkse meetpraktijk overleeft twee. Iedere digitale meter moet, wil het apparaat praktisch bruikbaar zijn, worden voorzien van een aantal beveiligingsschakelingen die tot taak hebben de elektronica van de meter te beschermen tegen te hoge spanningen of te hoge stromen die door foutieve bediening in het interne van de meter kunnen optreden.

Tussen de spanningsingang en de massa zijn, om te beginnen, acht in serie geschakelde varistors opgenomen. Deze elementen hebben een zeer hoge weerstand tot op het moment dat de spanning over het onderdeel groter wordt dan ongeveer 130 V. De varistors gaan dan geleiden en zijn in staat meer dan 10 A af te voeren. Bij het aanleggen van een grotere spanning dan ongeveer 1040 V gaan deze com-

ponenten dus geleiden en wordt de 10 MΩ ingangs-weerstand sterk gereduceerd. De meter vormt dan een zware belasting voor de spanningsbron en het gevolg is dat de spanning in elkaar stort.

De 2 en 10 A ingangen van de meter zijn gezekerd met zekeringen van 2 en 10 A. Tussen de 2 A ingang en de massa zijn bovendien twee anti-serie geschakelde zenerdioden (D13, D14) opgenomen die ervoor zorgen dat bij het aanleggen van een te grote spanning op de ampére-ingang de zekering onmiddellijk doorsmelt.

De ohmmeter ingang is beveiligd met een speciale 1/100 A zekering en bovendien zijn twee zeer speciale beveiligingsdioden aangebracht (D15, D16) die een teveel aan spanning onmiddellijk naar een van de voedingsaansluitingen afvoeren. De FDH 300 dioden worden gekarakteriseerd door een uiterst lage lekstroom, zijn vrij prijzig (*f* 2,50 per stuk) en bevinden zich in het pakket van Sciltronics te Leeuwarden. Het toepassen van "ordinaire" Si-dioden zoals 1 N 4148 is ten strengste verboden, althans in de veronderstelling dat de nabouwer iets over wil houden van de nauwkeurigheid van de meter!

De bouw van de schakeling

De elektronica van de meter is ondergebracht op drie printen, getekend in de figuren 4/7.17-7 tot en met 4/7.17-11. De grote basis-print en de kleine true-RMS-print zijn dubbelzijdig uitgevoerd en dit heeft niet eens zoveel te maken met een te ingewikkeld sporenpatroon voor een enkelzijdige print (het zou kunnen) maar veel meer met het vermijden van massa-lussen en andere constructies die stoorspanningen zouden kunnen introduceren. Een vier en een half decade meter heeft immers een oplossend vermogen van 0,1 mV (!), hetgeen nog miniemer lijkt als men het schrijft als 100 μV. Deze grote resolutie, gevoegd bij de hoge ingangsimpedantie stelt zeer speciale eisen aan de manier waarop de onderdelen op de print worden aangebracht en met elkaar verbonden. Om maar wat te noemen, zo moeten de voedingsleidingen zover mogelijk verwijderd blijven van de ingangen van de ADC omdat er anders vanwege de niet oneindig hoge impedantie van het epoxy van de print stoorsignalen in de ADC geïntroduceerd zouden kunnen worden. Analoge en digitale lijnen mogen niet parallel lopen maar moeten elkaar het liefst loodrecht kruisen en dat natuurlijk aan weerszijden van de print. Bepaalde ontkoppelingscondensatoren moeten op weldoordachte plaatsen aangebracht worden. Kortom, het zal duidelijk zijn dat ten stelligste wordt afgeraden de voorgestelde lay-outs te vervangen door eigen verzinsels.

De kleine, enkelzijdige display-print is het eenvoudigst te bestukken, het enige waarop men moet letten is dat de emitter en collector van transistor T2 zijn omgewisseld. De LED D17, de LO-Ω indicator wordt zo diep in de print gedrukt, tot de top van de LED net zo hoog boven de print uitsteekt als de display's.

Nadien kan men de true-RMS convertor onder handen nemen. De plattegrond van dit kleine printje is getekend in figuur 4/7.17-13. Denk er aan alle aansluitingen van onderdelen, waar aan beide zijden van de print een koperen eilandje aanwezig is, ook op beide zijden van de print vast te solderen!

De basis-print is getekend in figuur 4/7.17-14. Alle onderdelen die met een onderbroken lijn zijn getekend, moeten aan de onderzijde van de print worden gesoldeerd. Dat zijn dus alle drukschakelaars, de drie zekeringen en het weerstandsnetwerk RN1. Ook bij deze print moeten sommige aansluitingen aan weerszijden worden vastgesoldeerd, dit wijst zich echter vanzelf uit tijdens de montage.
Hoewel R9, de instelpotentiometer waarmee de referentiespanning voor de TL 500 wordt ingesteld is getekend als normale staande potentiometer, is het aan te bevelen dit onderdeel te vervangen door een 10-toeren trimmertje. De nauwkeurigheid van de meter hangt voornamelijk af van de stabiele instelling van deze referentie en het zou zonde zijn de zeer goede specificaties van de elektronica niet ten volle te benutten. Met enig kunst en vliegwerk en een druppeltje tweecomponentenlijm kan men op de print een 10-toeren trimmertje rechtopstaand monteren.
Op de print zijn een heleboel E-codes opgenomen. Deze corresponderen met de identieke codes in het algemene schema van de meter en op deze punten moet iets op de print worden aangesloten. Om te beginnen zijn dat de vier speciale 0,1 % weerstanden van de spanningsdeler. Deze worden als volgt op de print aangesloten:
- R20 (0,1 Ω) tussen E1 en E6 (E1 onder S4, E6 onder F2);
- R19 (0,9 Ω) tussen E11 en E6 (E11 onder S10);
- R18 (9 Ω) tussen E12 en E11 (E12 onder S9);
- R17 (90 Ω) tussen E12 en E13 (E13 onder S8).

De drie printen zijn nu klaar voor inbouw in een kast. Gebruik in ieder geval een metalen behuizing en leg het metaal aan de massa van de schakeling, hoe gevaarlijk dit ook kan zijn bij het rechtstreeks meten van de netspanning met de meter. Zonder genulde afscherming pikt de schakeling zo veel 50 Hz brom uit de omgeving op dat de meter het niet meer goed doet.
Nadat de basis-print op de bodem van de kast is bevestigd kan men de display-print op de basis-print solderen. Op de rand van de display-print zitten 12 koperen contact-vingers en deze passen precies op evenveel koperen eilandjes op de grote print.

De true-RMS print is zeer gevoelig voor het oppikken van brom en in feite is het het beste dit kleine schakelingetje helemaal in te blikken in een doosje gemaakt van zes stukjes aan elkaar gesoldeerd epoxy-print. Twee gaatjes voor het afregelen van de trimmers niet vergeten. Uit dit doosje komen vijf zo kort mogelijke draadjes en het geheel wordt daarmee op de basisprint bevestigd. Deze verbindingen zijn:

- E25 hoofdprint naar E22 true-RMS;
- E18 hoofdprint naar E20 true-RMS;
- E27 hoofdprint naar E21 true-RMS;
- E26 hoofdprint naar E23 true-RMS;
- E19 hoofdprint naar E24 true-RMS.

Soldeer bovendien het draadje E27-E21 vast aan de afscherming rond het printje.

Neem drie stukjes redelijk dikke draad en maak daarmee de volgende verbindingen:
- E2 met E3 (E2 onder S4, E3 rechter onderhoek print);
- E4 met E5 (E4 onder S4, E5 naast S11);
- E7 met E1 (E7 naast E5, E1 onder S4).

Men kan vervolgens de verbindingen tussen de ingangsbussen de print solderen:
- van massabus J1 naar E1 (E1 onder S4);
- van V/Ω ingangsbus J2 naar E10 (E10 onder varistors);
- van mA ingangsbus J3 naar E8 (E8 naast F1);
- van 10 A ingangsbus J4 naar E9 (E9 tussen F1 en F2);
- van temperatuuringangsbus J6 naar de J6-punten op de print;
- van de voedingsaansluiting J7 naar E28 (massa) en E14 (+9 V).

De tweevoudige omschakelaar S12 (meten/laden) wordt volgens het algemene schema verbonden met de aansluitingen E15, E16 en E17. Nadien soldeert men de aansluitingen van de nicad-houder met de + aan S12 en met de - aan E31.

De dubbelpolige aan/uit schakelaar S13 (LO/HI-Ω) wordt als volgt in de schakeling opgenomen:
- eerste schakelaar tussen E30 en E29;
- tweede schakelaar tussen E28 en E20 op de display-print.

Overzicht van de schakelaarfuncties
- S 1: uit-aan;
- S 2: selectie °C;
- S 3: selectie °F;
- S 4: selectie kΩ;
- S 5: selectie V/mA;
- S 6: selectie DC/RMS;
- S 7: bereik 1,9999;
- S 8: bereik 19,999;
- S 9: bereik 199,99;
- S10: bereik 1000,0;
- S11: 10 A - 10 MΩ;
- S12: meten/laden;
- S13: LO/HI-Ω.

Het afregelen van de schakeling
Voor het afregelen van de meter heeft men een nauwkeurige gelijkspanningsreferentie nodig (bijvoorbeeld de AD 2710, zie hoofdstuk 6/6.19.2) of een geijkte vier en half decade multimeter. Bij gebrek aan een van beide alternatieven kan men gebruik maken van een verse kwikcel, deze levert een vrij constante spanning van 1,35 V. De afregelprocédure wordt nu stap na stap besproken.

- **afregelen R9 (ADC referentie):** sluit een bekende spanning aan op de ingang, zet de meter op DC en het juiste bereik. Verdraai R9 tot de aangeduide spanning gelijk is aan de spanning van de referentie. Bij ge-

brek aan referentie moet men een stabiele spanning van ongeveer 1,5 V aansluiten, deze spanning meten met een geijkte voltmeter en R9 afregelen tot de indicatie overeen komt met deze op de referentie-meter. Bij gebruik van een kwikcel deze aansluiten en meter afregelen op 1,3500 V. Deze laatste methode is uiteraard zeer onnauwkeurig!

- **afregelen R24 (RMS-offset):**
  schakel de meter op RMS, bereik 1,9999 V, sluit de ingang kort en regel R24 af op 0,0000 uitlezing.

- **afregelen R21 (RMS ijking):**
  deze afregeling heeft alleen zin als men de beschikking heeft over een 1 kHz sinus-referentie of een nauwkeurige digitale wisselspanningsmeter. Beschikt men niet over deze instrumenten, zet deze potentiometer dan in de middenstand. Sluit sinus aan, meet deze spanning eventueel met referentie-meter en verdraai R21 tot de uitlezing overeen stemt met deze van de referentiemeter.

- **afregelen R15 (1,9999 kΩ bereik):**
  zet de meter of ohm-meting, 1,9999 bereik, verbindt tussen de ingangsklemmen een nauwkeurige weerstand van 1 kΩ (liefst 0,1 %). Verdraai de weerstand R15 tot de uitlezing de waarde 1,0000 aanduidt.

- **afregelen R14 (19,999 kΩ bereik):**
  herhaal de procédure in stand 19,999 met een 10 kΩ weerstand.

- **afregelen R13 (199,99 kΩ bereik):**
  idem met stand 199,99 en 100 kΩ weerstand.

- **afregelen R12 (1,9999 MΩ bereik):**
  idem met stand 1,9999 MΩ en 1 MΩ weerstand.

- **afregelen R10 (20 MΩ bereik):**
  idem voor hoogste bereik met 10 MΩ referentie-weerstand.

- **afregelen R36 (°C offset):**
  meet met een tweede digitale meter de spanning tussen de loper van deze potentiometer en de -5 V voeding en verdraai de potmeter tot 2,732 V gemeten wordt.

- **afregelen R33 (°F offset):**
  dezelfde procédure, spanning tussen loper R33 en -5 V voeding afregelen op 4,594 V.

- **afregelen R29 (°C bereik):**
  stop de goed geïsoleerde sensor in een bad met smeltende ijsblokjes, laat de sensor uitstabiliseren en regel R29 af op een uitlezing van 0,0000. Herhaal de procédure met kokend gedestilleerd water, de uitlezing moet nu naar 10000 gaan. Er zal waarschijnlijk een afwijking optreden, men moet door het afwisselend onderdompelen van de sensor in smeltwater en kokend water een zo goed mogelijk compromis instellen.

- **afregelen R31 (°F bereik):**
  herhaal de omschreven procédure en gebruik de omrekeningsformule °F = (9/5 °C) + 32 om de Fahrenheit-schaal te ijken.

- **afregelen C1 (capacitieve spanningsdeler):**
zet de uitgang van een sinus-oscillator op de ingang van de op RMS geschakelde meter. Meet een 1 Veff spanning van 50 Hz, zet de generator op 1 kHz en verdraai C1 tot de meter dezelfde spanning aanwijst. Men moet er echter verzekerd van zijn dat de uitgangsspanning van de generator constant blijft als men de frequentie wijzigt!

- **afregelen C37 (capacitieve spanningsdeler):**
herhaal de beschreven procédure, maar nu met een spanning van meer dan 10 V en meter geschakeld op 199,99 bereik.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 0,1 %

RN1	=	weerstandsnetwerk, Caddock 1776-231-7849
R17	=	90 Ω , 1/4 W
R18	=	9 Ω , 3 W
R19	=	0,9 Ω , 5 W
R20	=	0,1 Ω , 10 W

Weerstanden, 1 % metaalfilm

R6	=	2,0 kΩ
R7, R48	=	100 kΩ
R8	=	18 kΩ
R16	=	100 Ω
R22	=	243 Ω
R25	=	39 kΩ
R28	=	9,53 kΩ
R30, R32, R35	=	7,86 kΩ
R34	=	4,02 kΩ
R37	=	11,8 kΩ
R38	=	2,70 kΩ
R40	=	9,00 Ω, 3 W

Weerstanden, 5 % , 1/3 W

R1	=	1 kΩ
R2	=	30 kΩ
R3	=	10 Ω
R4	=	2,2 kΩ
R5, R41 - R47	=	100 Ω
R11	=	22 kΩ
R23	=	470 Ω
R26	=	12 kΩ
R27	=	10 MΩ
R39	=	3,9 Ω
R49	=	10 kΩ
R50	=	270 Ω

Instelpotentiometers

R9	=	10 kΩ, 10-toeren
R10	=	25 kΩ
R12	=	20 kΩ
R13	=	2,5 kΩ
R14, R15	=	100 Ω
R21	=	500 Ω
R24	=	47 kΩ
R29, R31, R33, R36	=	1 kΩ

Condensatoren

C1	=	10 pF, trimmer
C2, C3, C9, C10	=	1 μF, Mylar
C4	=	1 μF, tantaal
C5, C6, C19, C20, C26	=	10 nF, MKH
C7, C8, C13, C14	=	10 μF, tantaal
C11, C12	=	220 nF, MKH
C15, C18, C21, C22	=	39 μF, tantaal

C24, C31,
C32 = 39 μF, tantaal
C16, C17 = 20 pF, keramisch
C23 = 2200 μF, 25 V elco
C25 = 1 nF, MKH
C27, C28 = 100 μF, 25 V elco
C29, C30 = 220 μF, 25 V elco
C33 = 47 nF, MKH
C34 = 470 pF, keramisch
C35 = 8,2 pF, keramisch
C36 = 390 pF, keramisch
C37 = 60 pF, trimmer
C38 = 3 nF, KMH
C39 = 1,1 nF, MKH

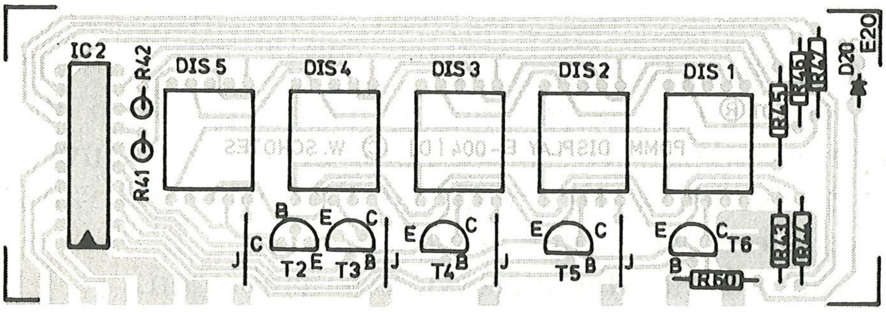
Halfgeleiders
D2 - D11 = 1 N 4002
D12, D14 = 3,3 V zenerdiode
D15, D16 = FDH 300 low leakage
D17 = 3 mm LED, rood
V1 - V8 = V 130 LA 1 varistor (GE)
DIS1-DIS4 = FND 507
DIS5 = FND 508
T1 - T6 = PNP-transistor, universeel

Geïntegreerde schakelingen
IC1 = TL 500 C analoge processor
IC2 = TL 502 C digitale processor
IC3 = 74 LS 75 D-type flipflop
IC4 = 74 LS 93 teller
IC5 = CD 4001 B quad NAND
IC6 = AD 536 JH true RMS convertor
IC7 = LF 351 N bi-FET op-amp
IC8 = 555 timer
IC9 = 7905 stabilisator
IC10 = 79 M 08 CP stabilisator
IC11 = 7805 stabilisator
IC12 = ICL 8069 CCQ referentie
IC13 = LM 329 DZ referentie
IC14 = AD 590 KH t-sensor

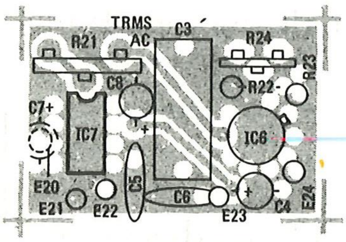
Diversen
S1, S6 = drukschakelaars, 2 x OM
S2 - S5 = drukschakelaars, 4 x OM interlocked
S7 - S11 = drukschakelaars, 4 x OM interlocked
S12, S13 = tuimelschakelaars, 2 x OM
XTAL2 = 4 MHz kristal
F1 = 2 A zekering
F2 = 10 A zekering
F3 = 1/100 A zekering

WEKA IJK-SERVICE

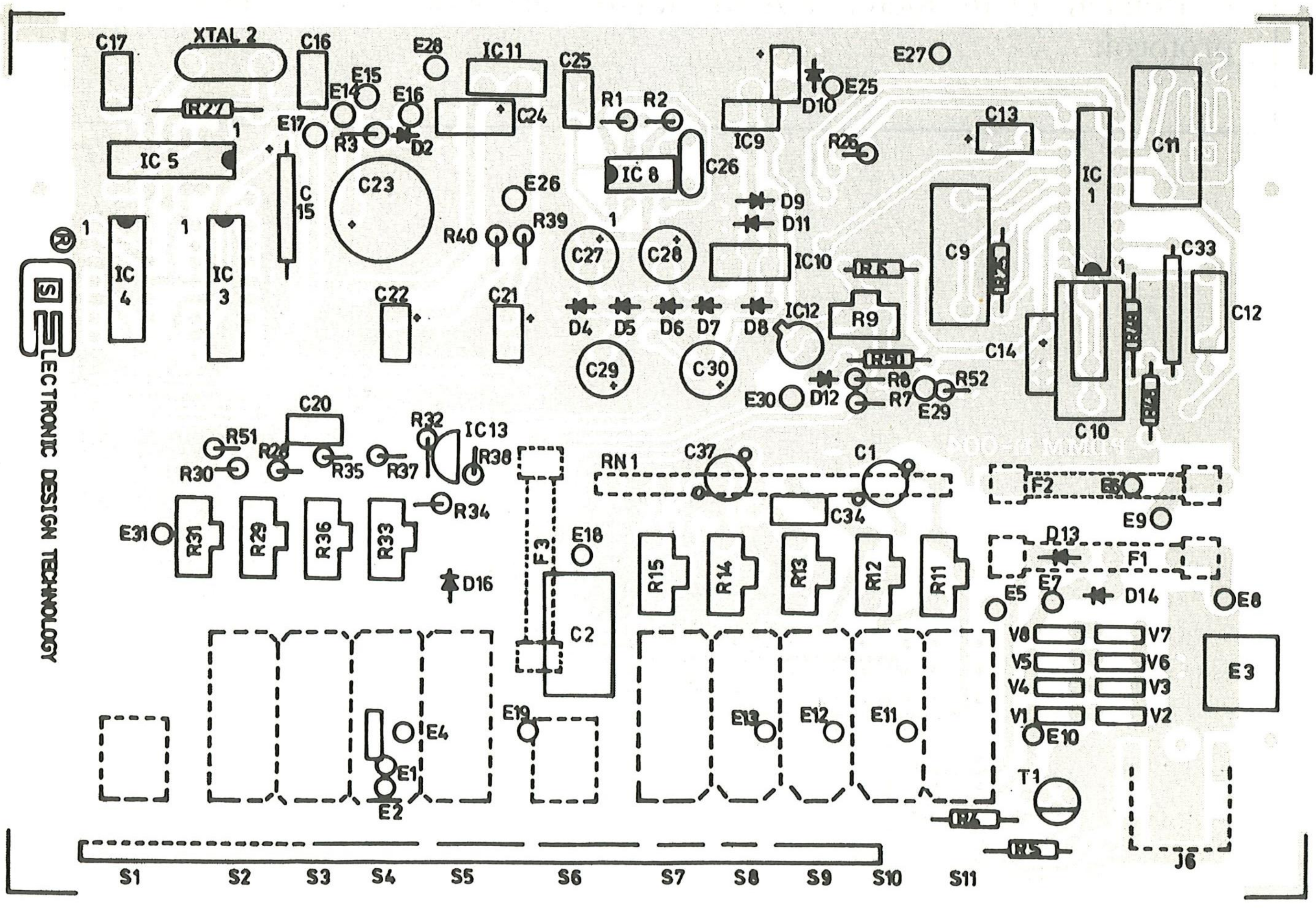
Voor het ijken van een vier en half decade digitale meter heeft men of een andere digitale meter met dezelfde resolutie nodig of een zeer nauwkeurige ijk-referentie. Het is niet waarschijnlijk dat u als nabouwer van dit apparaat over een van deze twee dingen beschikt.
Vandaar dat WEKA u een uitzonderlijk ijk-service wil aanbieden.
Tegen betaling van *f* 10,- op girorekening 563.88.64 van Uitgeverij WEKA BV te Amsterdam (onder vermelding van "ijk-service" ontvangt u een kwikcelletje waarvan de onbelaste spanning en de temperatuur waarbij deze spanning werd gemeten op een ijk-protocol zijn vermeld.
De spanning wordt met een zeer nauwkeurige Fluke digitale meter gemeten tot op 0,1 mV, de temperatuur tot op 0,1 °C.
Kwikcelletjes hebben de eigenschap dat de onbelaste spanning (bij constante temperatuur) vrij lang zeer constant blijft. Het volstaat dus de cel aan te sluiten op de DC-ingangen van uw meter en de weerstand R9 te verdraaien tot de meter dezelfde waarde aanwijst als vermeld op het protocol.



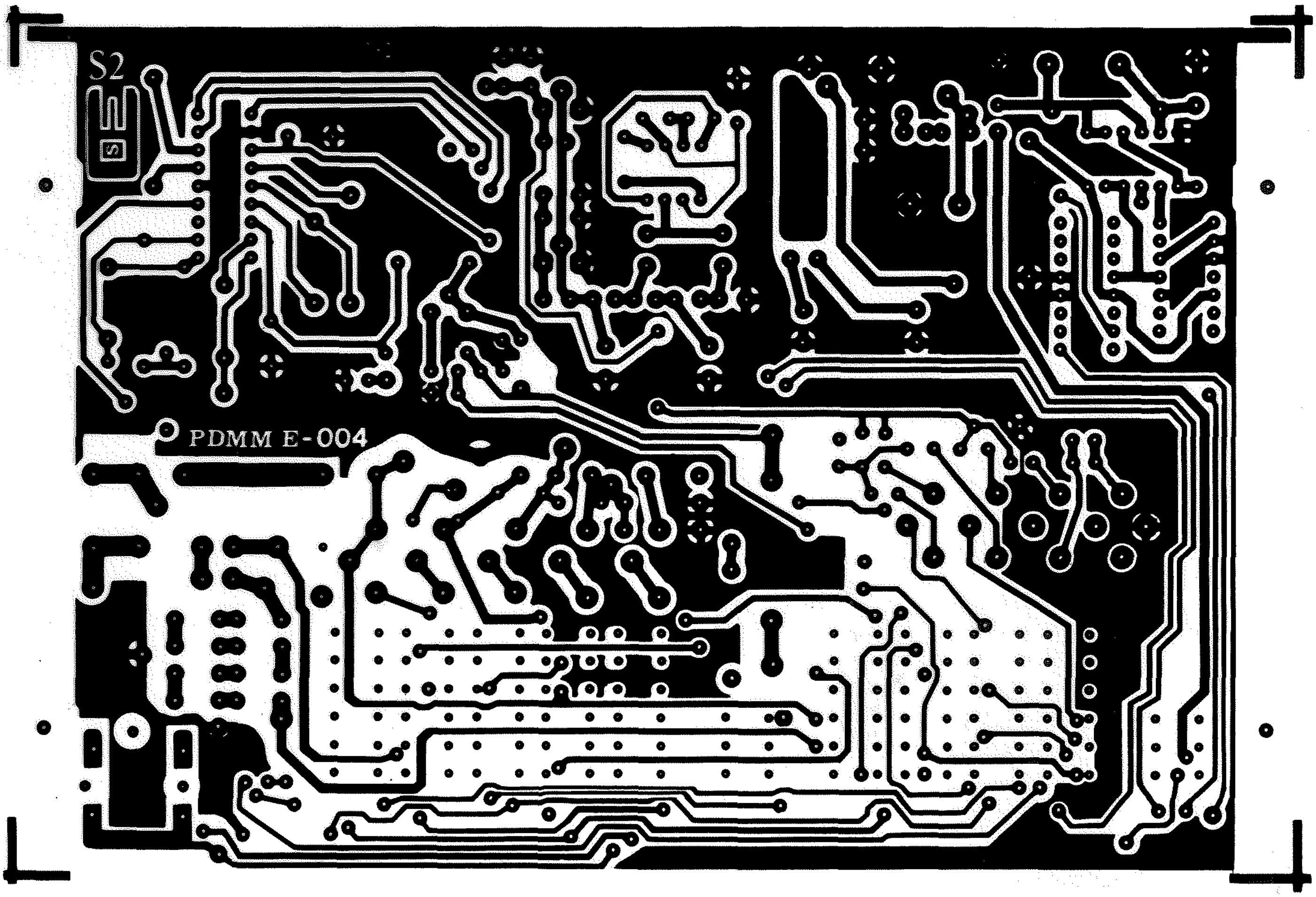
Figuur 4/7.17-12: Onderdelenopstelling display-print.



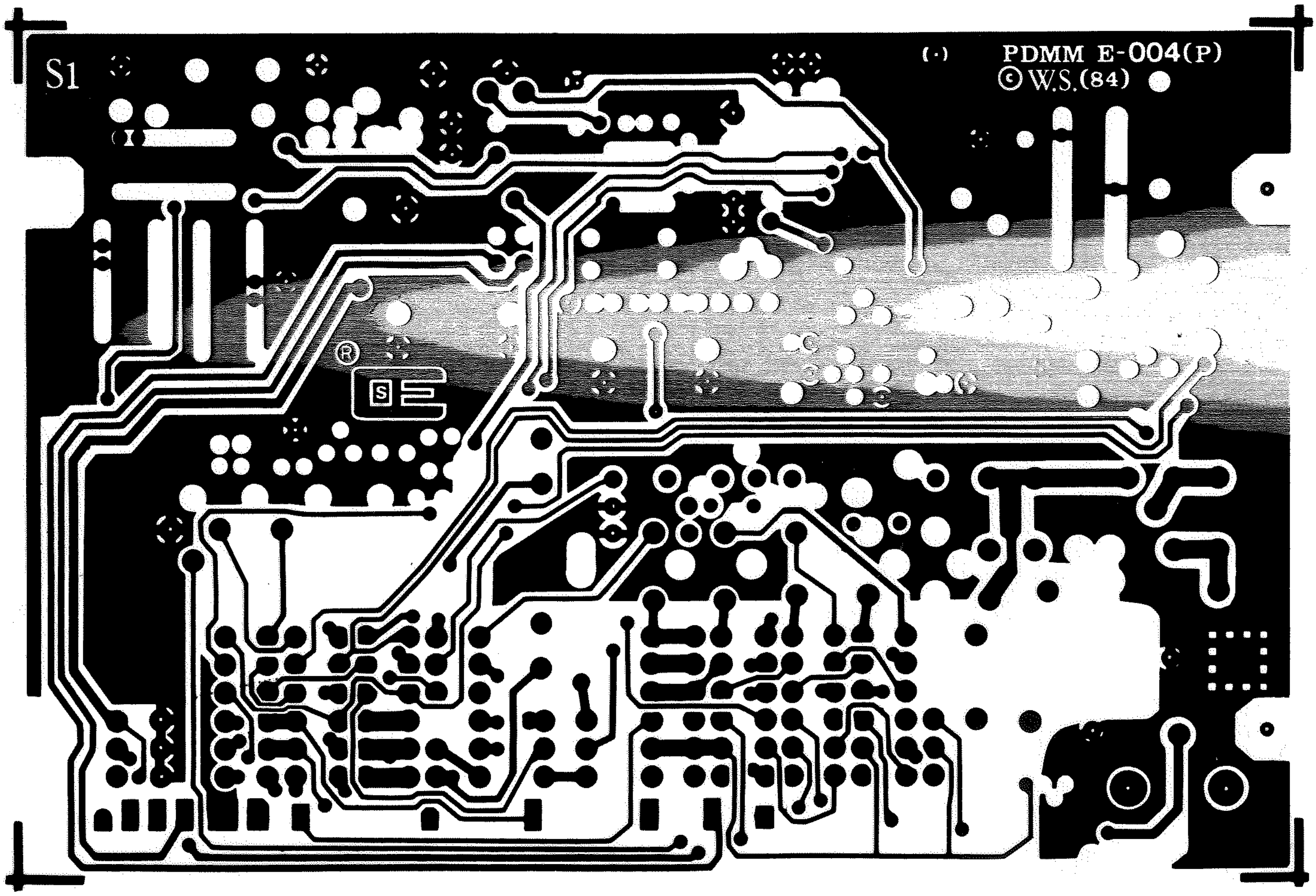
Figuur 4/7.17-13: Plattegrond RMS-print.



Figuur 4/7.17-14: Plattegrond basis-print.

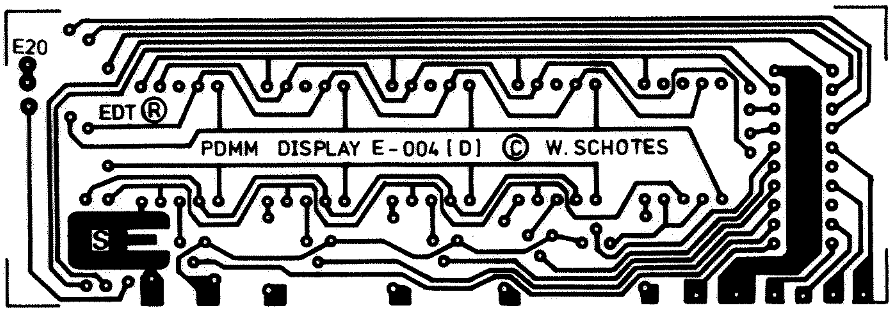


Figuur 4/7.17-7: Soldeerkant van de basis-print.

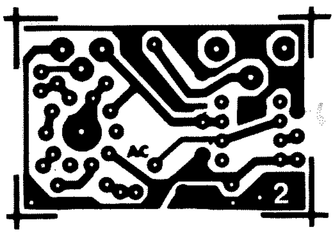


Figuur 4/7.17-8: Basis-print, onderdelenzijde.

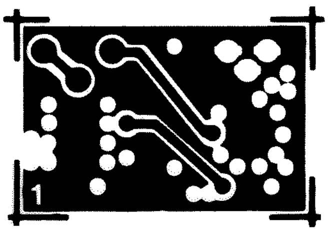
7.17 Digitale universeelmeter



Figuur 4/7.17-9: Het display-printje.



Figuur 4/7.17-10: Het printje voor de true-RMS schakeling, soldeerzijde.



Figuur 4/7.17-11: Idem, componentenzijde.

4/7.18

Milliohm-meter in vierdraads-techniek

Inleiding

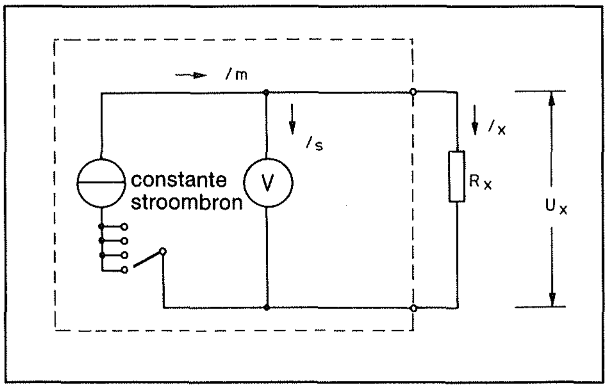
Iedere elektronica doe-het-zelver bezit tegenwoordig wel een digitale universeelmeter waarmee men, naast spanningen en stromen, ook weerstanden kan meten.
Bij de meeste goedkope apparaten kan men weerstanden meten in vijf bereiken, namelijk 200 Ω, 2 kΩ, 20 kΩ, 200 kΩ en 2 MΩ. In het laagste bereik kan men weerstanden tot ongeveer 10 Ω met een redelijke nauwkeurigheid meten.
Bij het meten van lagere weerstandswaarden treden er echter grote fouten op, testen met enige goedkope digitale universeelmeters die men een weerstand van 5 Ω liet meten wezen uit dat de gemiddelde afwijking meer dan 5% bedroeg! Uit deze testen bleek bovendien dat dit soort instrumenten in feite niet in staat is weerstanden onder de 1 Ω te meten.

Toch komt het vrij vaak voor dat men redelijk nauwkeurig zeer lage weerstanden moet meten. Denk maar eens aan allerlei beveiligings-weerstanden in eindversterkers en gestabiliseerde voedingen, die steeds een kleinere waarde dan 1 Ω hebben.
Bovendien zijn dergelijke weerstanden vaak niet eens te koop, zodat men ze zelf moet maken uit weerstandsdraad. Het is dan zeer belangrijk dat men een mogelijkheid in huis heeft de waarde van de zelf geconstrueerde weerstand na te meten.

Waarom het mis gaat

Men zou zich de vraag kunnen stellen waarom digitale universeelmeters, die wel in staat zijn redelijk nauwkeurig gelijkspanningen van 100 mV te meten, het laten afweten bij het meten van kleine weerstanden.

Het antwoord op deze vraag zit verscholen in het fundamentele principe, dat in alle digitale universeelmeters wordt toegepast voor het meten van weerstanden.
Men noemt dit principe het 'stroom-spanning principe' en de principiële werking is geschetst in figuur 4/7.18-1.



Figuur 4/7.18-1: Het stroom-spanning principe, waarmee in alle digitale universeelmeters weerstanden worden gemeten.

7.18 Milliohm-meter in vierdraads-techniek

De in de meter aanwezige voltmeterschakeling wordt aangesloten over de te meten weerstand. Door deze weerstand wordt een constante stroom gestuurd, afkomstig van een zeer stabiele stroombron. Deze stroom zal over de weerstand een spanningsval veroorzaken, waarvan de grootte wordt gegeven door de wet van Ohm:

$U_R = R_X \times I_C$

De spanningsval is dus recht evenredig met de waarde van de weerstand.
Als men er bovendien voor zorgt dat de constante stroom gelijk is aan een veelvoud van 10, zal de gemeten spanning overeen komen met de waarde van de weerstand.
Een voorbeeld: stel dat de constante stroom gelijk is aan 1 mA en dat de waarde van de onbekende weerstand 1,234 kΩ is. De stroom van 1 mA zal over deze weerstand een spanning van 1,234 V opwekken en de indicatie op de meter geeft dus de waarde van de weerstand in kΩ aan.

Nu zijn er natuurlijk een aantal haken en ogen aan dit systeem.
Op de eerste plaats verbruikt de digitale voltmeter, die de spanning over de weerstand meet, natuurlijk ook een bepaalde stroom. Vandaar dat in het schema van figuur 4/7.18-1 de stroom door de weerstand I_X wordt genoemd en de stroom van de constante stroombron I_M. Het verschil tussen beide waarden is de meetstroom I_S. Deze verschilstroom kan erg klein zijn, omdat men tegenwoordig in staat is digitale voltmeters te maken die slechts enige nA nodig hebben om goed te werken. Het probleem van de stroom-verdeling speelt dus alleen als men zeer grote weerstanden zou willen meten, omdat de constante stroom I_M dan ook in het nA-gebied moet liggen.

Dat de nauwkeurigheid van de constante stroom en de nauwkeurigheid van de digitale voltmeter de uiteindelijke nauwkeurigheid van de weerstands-meting beïnvloeden zal wel duidelijk zijn.
Bij het meten van zeer kleine weerstanden met dit systeem doet er zich echter een geheel nieuw probleem voor. De constante stroom moet dan vrij groot zijn, stel 1 A, om over de weerstand nog een meetbare spanning op te wekken. Nu vloeit deze stroom via allerlei schakelaar-contacten, de aansluitbussen van de meter en de meetdraden naar de onbekende weerstand. De interne voltmeter is ergens, in het interne van het apparaat, met de twee stroomvoerende geleiders verbonden. Nu hebben schakelaar-contacten, stekerbussen en aansluitsnoeren natuurlijk ook een bepaalde weerstand! En het is deze weerstand, of beter gezegd, de som van al deze paracitaire weerstanden, die de genoemde grote meet-fouten veroorzaakt. De voltmeter zal namelijk de spanningsval over een deel van deze paracitaire weerstanden mee meten en het lijkt dus of de onbekende weerstand groter is dan hij in werkelijkheid is.

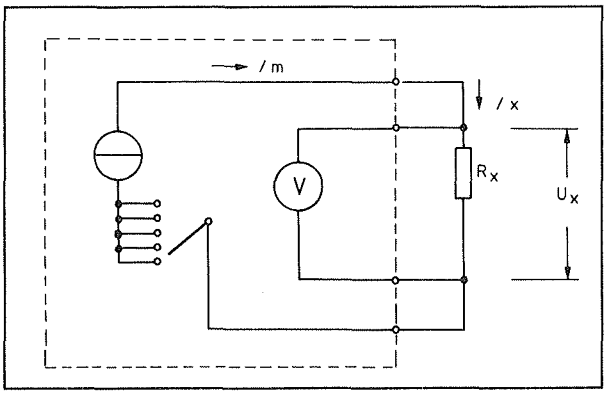
Deze fout is eigen aan het toegepaste meetprincipe en kan wel verkleind worden, bijvoorbeeld door zeer goede schakelaars te gebruiken of de schakeling zo te ontwerpen dat de stroom door zo min mogelijk schakelaars moet lopen, maar helmaal uit te schakelen is deze fout nooit.

7.18 Milliohm-meter in vierdraads-techniek

Het vierdraads-principe

Het vierdraads-principe wijkt in wezen niet af van de gebruikelijke manier voor het meten van weerstanden. Uit figuur 4/7.18-2, waar deze techniek wordt voorgesteld, blijkt dat het enige verschil is dat de constante stroombron en de voltmeter met afzonderlijke leidingen op de te meten weerstand worden aangesloten.

Het voordeel zal duidelijk zijn! Spanningsvallen over schakelaar-contacten, stekerbussen en aanvoerleidingen worden nu niet meegemeten en de voltmeter meet alleen de spanningsval over de onbekende weerstand. De indicatie zal dus veel nauwkeuriger zijn en de fout wordt alleen bepaald door de nauwkeurigheid van de voltmeter en de constantheid van de stroom.



Figuur 4/7.18-2: Bij de vierdraads-methode wordt de meetstroom over afzonderlijke leidingen aangevoerd, zodat de spanning over deze leidingen niet wordt mee gemeten.

De praktische schakeling

Het schema van de zelf te bouwen meter voor kleine weerstanden volgens het vierdraads-principe is getekend in figuur 4/7.18-3.

De schakeling bestaat uit twee volledig gescheiden delen, namelijk een constante en omschakelbare stroombron en een analoge voltmeter met hoge ingangsweerstand en grote gevoeligheid. Beide systemen hebben zelfs gescheiden voedingen!

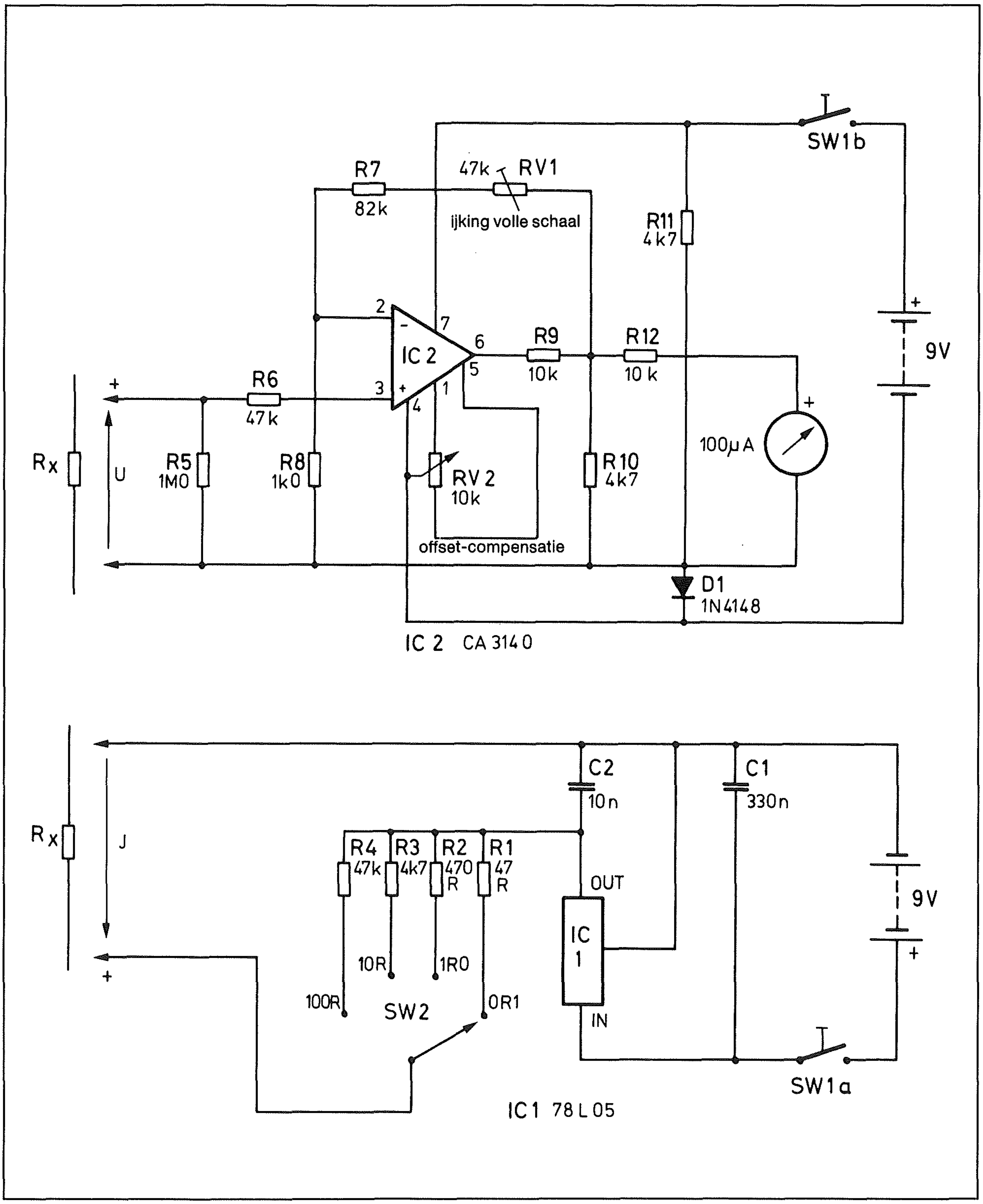
Bij de constante stroombron, het onderste schema uit de figuur, wordt gebruik gemaakt van een geïntegreerde spanningsstabilisator van het type 78L05. Uit deze gestabiliseerde spanning worden door middel van omschakelbare serie-weerstanden R1 tot en met R5 vier meetstromen afgeleid van respectievelijk 100 mA, 10 mA, 1 mA en 100 μA. Omdat de gevoeligheid van de meter gelijk is aan 10 mV geven deze vier stromen meetbereiken van respectievelijk 0,1 Ω, 1 Ω, 10 Ω en 100 Ω.

Hoewel dus niet gewerkt wordt met een regel-schakeling, die de stroom constant houdt, is de verhouding tussen maximale meet-weerstand en voorschakelweerstand voor iedere bereik gelijk aan 1/470! Men kan dus zonder meer stellen dat de stroom over het volledige meetbereik constant genoeg blijft om nauwkeurig te kunnen meten.

De stroom-variatie die over het volledige bereik optreedt is veel kleiner dan de tolerantie van de gebruikte 1% weerstanden.

De voltmeter bestaat uit een wijzerinstrument met een gevoeligheid van 100 μA volle schaal en een geïntegreerde voorversterker. Er wordt gebruik gemaakt van een CA 3140 op-amp, omdat deze tot tegen de negatieve voedingsspanning goed kan werken en er dus geen noodzaak aanwezig is een symmetrische voedingsspanning toe te passen. Toch wordt er met behulp van de silicium-diode D1 een kleine negatieve

7.18 Milliohm-meter in vierdraads-techniek



Figuur 4/7.18-3: Het schema van de milliohm meter bestaat uit twee volledig gescheiden delen, namelijk een stroombron en een gevoelige spanningsmeter.

7.18 Milliohm-meter in vierdraads-techniek

spanning van −0,65 V gegenereerd, die wordt gebruikt voor het voeden van de op-amp en de offset-compensatie. Op deze manier is men er zeker van dat men de offset van de operationele versterker zonder problemen kan compenseren door het verdraaien van RV2 tot de naald van de meter op nul staat.
De operationele versterker is geschakeld als niet inverterende versterker. De ingangsspanning wordt aangesloten tussen de niet inverterende ingang van de op-amp en de kunstmatige massa, gevormd door de anode van de diode. De weerstand R5 is parallel over de ingang geschakeld om de meter in rust te houden als er niet gemeten wordt. Zonder deze weerstand zou de meter een zo goed als oneindig hoge inwendige weerstand hebben en erg gevoelig reageren op brom-spanningen van de omgeving. De serie-weerstand R6 beschermt de operationele versterker tegen de grote ingangsspanningen bij verkeerd gebruik van de schakeling. De versterking wordt bepaald door de terugkoppeling tussen de uitgang, de inverterende ingang en de kunstmatige massa. Deze terugkoppeling bestaat uit de weerstanden R8, R7 en RV1. Met de potentiometer kan men de versterking van de trap afregelen en dus de schakeling ijken. Ook in de uitgangskring zijn enige beveiligings-weerstanden opgenomen, namelijk R9, R10 en R12. Door dit netwerk kan er nooit meer dan 2 V over de draaispoelmeter komen te staan.

Bouw van de milliohm meter

De twee deel-schakelingen worden op twee afzonderlijke printjes, getekend in de figuren 4/7.18-4 en -5, ondergebracht. De montage zal aan de hand van figuur 4/7.18-6 geen problemen geven.
De twee 9 V batterijtjes worden met een dubbelpolige schakelaar SW1 gezamenlijk in- en uitgeschakeld.
De potentiometer voor de offset-compensatie (RV2) wordt uitgevoerd als tientoeren trimmer en op de rand van het printje bevestigd. De instel-as kan dan door een klein gaatje in het kastje verdraaid worden met behulp van een schroevendraaiertje.
In figuur 4/7.18-6 is ook de bedrading tussen de twee printen getekend. De vier aansluitingen rechts boven, komende van de weerstanden R1 tot en met R4, gaan naar de contacten van bereiken-schakelaar SW2. Het moedercontact van deze schakelaar wordt aangesloten op het onderste printje en gaat dan via een printspoor naar een van de J-aansluitingen. Tussen deze J-klemmen staat de constante stroom ter beschikking. Deze twee aansluitingen worden dus met de te meten weerstand verbonden. De spanningsval over de weerstand gaat via twee extra draden terug naar de pennen U, aan de onderzijde van de print. Deze twee draden moeten zo dicht mogelijk tegen de te meten weerstand worden vastgeklemd.

Afregelen en bediening

Schakel de meter in door het sluiten van de schakelaar SW1 en sluit de meter-klemmen U kort. Regel de uitslag van de naald op nul met de tientoerentrimmer RV2.
Zet de bereiken-schakelaar SW2 op '100 Ω' en sluit een referentie-weerstand van 100 Ω, 1% aan op de stroomdraden J. Verbind nadien de twee meter-draden U zo dicht mogelijk tegen het weerstandslichaam met beide aansluitingen

van de weerstand. Verdraai de potentiometer RV1 tot de naald van de meter 100 μA aanwijst.

Dit beëindigt de afregel-procedure van het apparaatje en de milliohm meter kan nu zijn diensten aanbieden bij het nauwkeurig meten van weerstanden in het Ω-bereik. Naarmate de batterijen verouderen zal men af en toe de offset opnieuw moeten compenseren door bij kortgesloten U-ingangen de poteniometer RV2 te verdraaien tot de naald weer op nul staat.

Bij het meten van zeer kleine weerstanden in het laagste bereik moet men er rekening mee houden dan een extra weerstand van 1 Ω van bijvoorbeeld dunne meetleidingen voor de stroom, een fout van 2% introduceert. Gebruik dus dikke snoeren voor het toevoeren van de constante stroom en kwalitatief hoogwaardige aansluitmaterialen.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1% MF

R1 = 47 Ω
R2 = 470 Ω
R3, R10, R11 = 4,7 kΩ
R4, R6 = 47 kΩ
R5 = 1 MΩ
R7 = 82 kΩ
R8 = 1 kΩ
R9, R12 = 10 kΩ

Instel-potentiometers

RV1 = 47 kΩ, 15x5 liggend
RV2 = 10 kΩ, tientoeren

Condensatoren

C1 = 330 nF, MKH
C2 = 10 nF, MKH

Halfgeleider

D1 = 1 N 4148

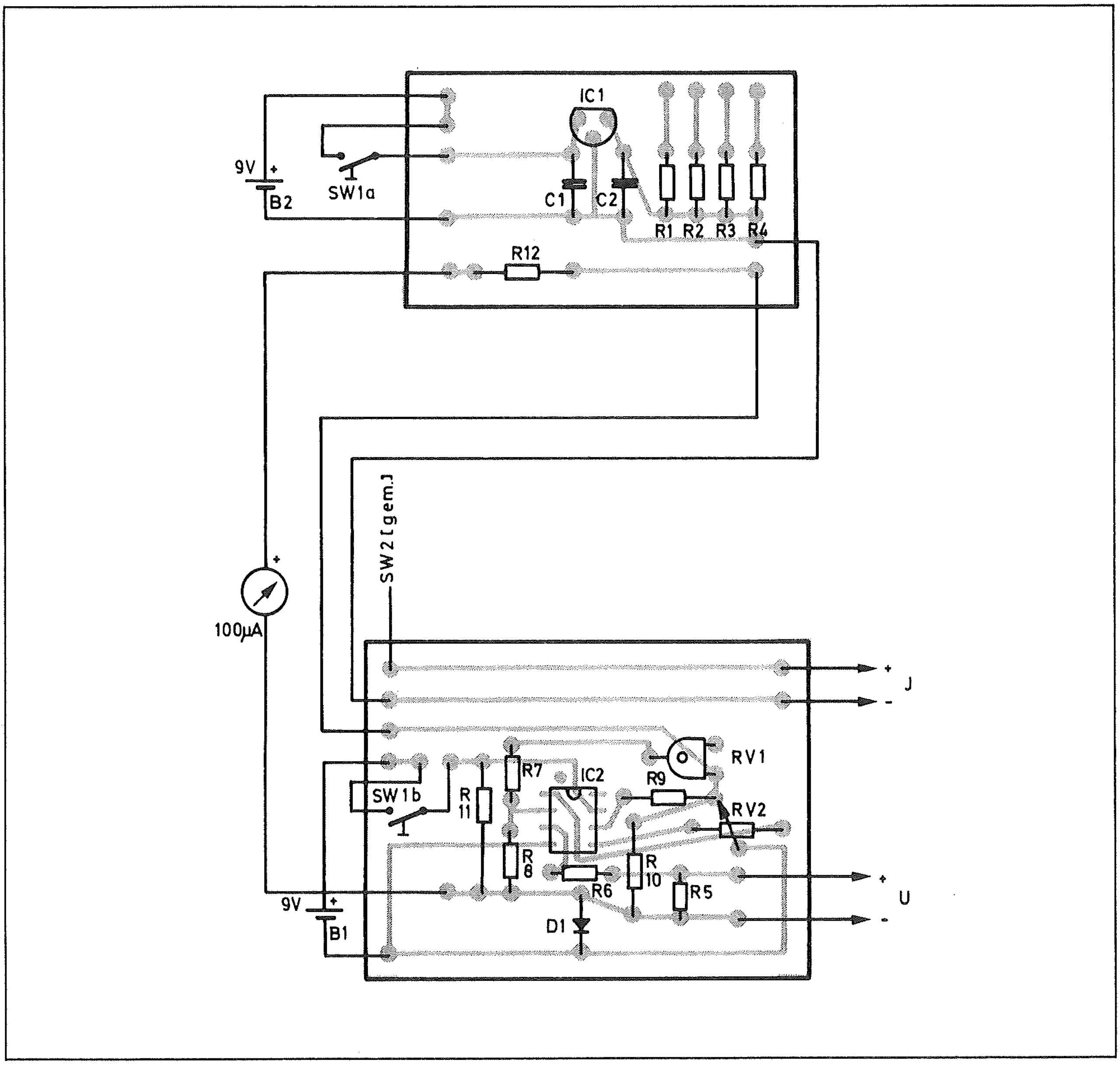
Geïntegreerde schakelingen

IC1 = 78 L 05
IC2 = CA 3140

Diversen

SW1 = dubbelpolige tuimelschakelaar
SW2 = 1 x 4 standen draaischakelaar
M1 = 100 μA draaispoelmeter
2 x 9 V batterij
1 x 8-pens IC-voetje
4 x meetleidingen
diverse verbindingsonderdelen

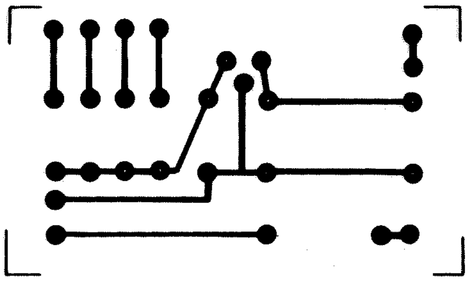
7.18 Milliohm-meter in vierdraads-techniek



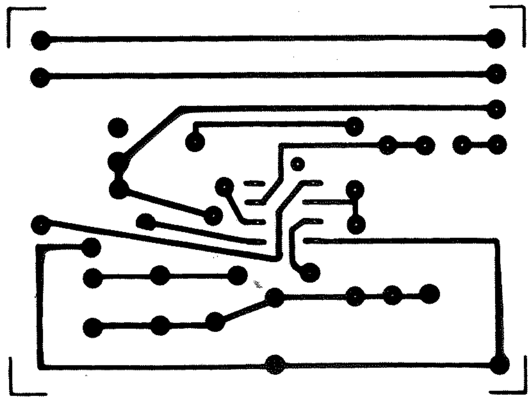
Figuur 4/7.18-6: Componenten-opstelling en bedradings-schema van de milliohm meter voor zelfbouw.

7.18 Milliohm-meter in vierdraads-techniek

7.18 Milliohm-meter in vierdraads-techniek



Figuur 4/7.18-4: Printje voor de stroombron.



Figuur 4/7.18-5: Printje voor de voltmeter.

4/7.19

Tweekanaals schakelaar voor de oscilloscoop

Inleiding

De meeste elektronica doe het zelvers zullen een eenvoudige eenkanaals oscilloscoop ter beschikking hebben. Voor de meeste metingen is dat voldoende maar toch komt men af en toe in aanraking met situaties waarbij het ideaal zou zijn als men twee signalen tezelfdertijd op het scherm zichtbaar zou kunnen maken.
Te denken valt aan:

- vergelijking van de fase van de twee uitgangssignalen van een stereo-versterker;
- instellen van videokoppen;
- vergelijking van de clock- en de Q-signalen van een flip-flop;
- vergelijken van de in- en uitgangsspanning van een emmertjes-geheugen.

Hoewel de prijs van twee-kanaals oscilloscopen de laatste jaren behoorlijk gedaald is en men nu een zeer degelijke en breedbandige tweekanaals oscilloscooop voor iets boven de duizend gulden kan kopen, is dit een uitgave die voor de meeste doe het zelvers toch te zwaar zal zijn.
In dit hoofdstuk wordt een eenvoudige elektronische schakelaar beschreven, waarmee men twee laagfrequente signalen op het scherm van een eenkanaals oscilloscoop zichtbaar kan maken.

Specificaties

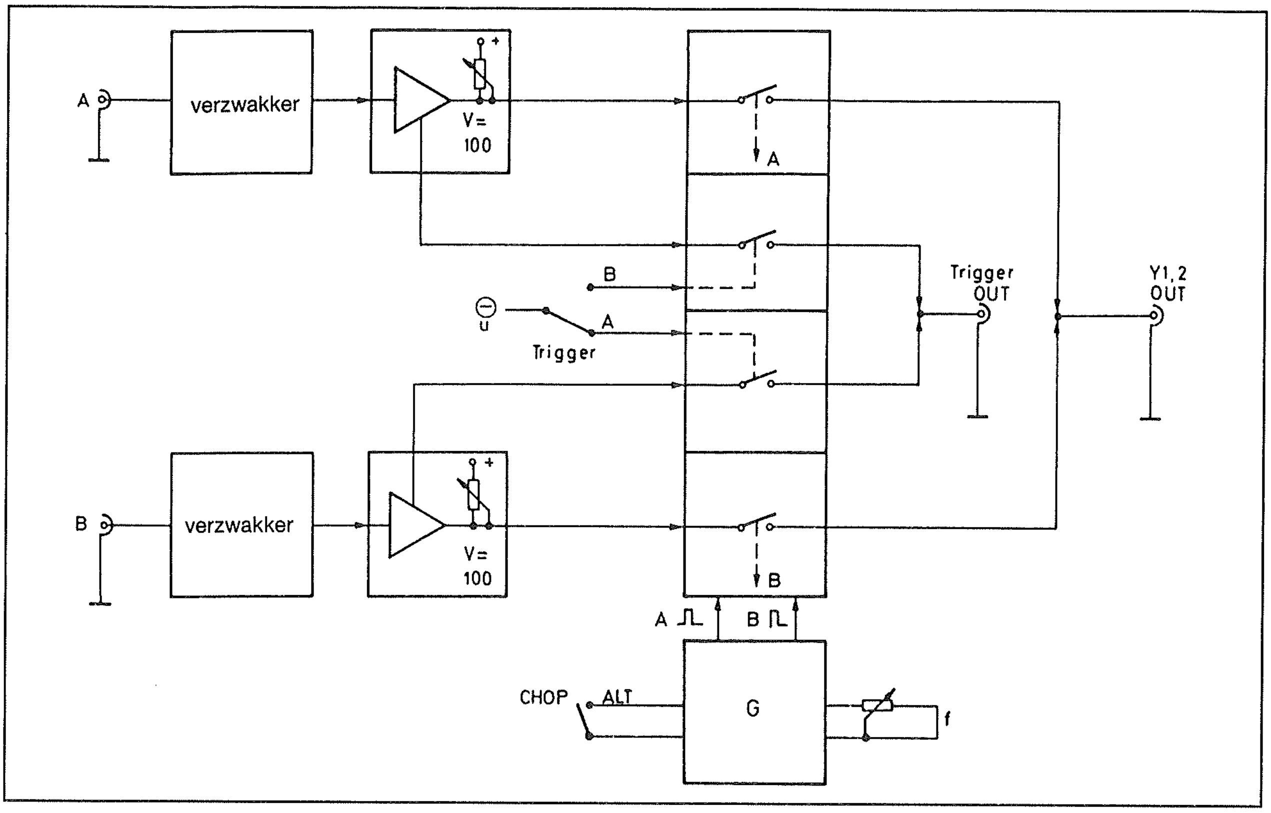
Een korte samenvatting van de eigenschappen van de tweekanaals oscilloscoop-schakelaar:

- ingangsimpedantie:
  1 MΩ, parallel aan 30 pF
- ingangskoppeling:
  wisselspanning
- frequentiebereik:
  20 Hz tot 100 kHz, binnen 3 dB
- maximale ingangsspanning:
  300 V effectief
- triggerbronnen:
  kanaal A of B, door middel van schakelaar instelbaar
- kanaalomschakeling:
  ALTERNATE OF CHOPPED, met de hand instelbaar
  frequentie met de hand na te regelen

Blokschema

Het blokschema van de elektronische omschakelaar is getekend in figuur 4/7.19-1. De twee ingangen worden aangeboden aan nauwkeurige en hoog-ohmige verzwakkers met vijf standen. Bij een instelling van de oscilloscoop op 1 V per schaalverdeling kan men met deze verzwakkers de gevoeligheid van beide kanalen onafhankelijk van elkaar instellen op 10 mV, 100 mV, 1 V, 10 V en 100 V per schaalverdeling. De schakelaar levert dus ook nog eens een behoorlijke signaalversterking op, hetgeen ideaal is als men moet werken met een goedkope scoop die niet zo gevoelig is. Het grote bereik van de ingangsver-

7.19 Tweekanaals schakelaar voor de oscilloscoop



Figuur 4/7.19-1: Blokschema van de tweekanaals schakelaar.

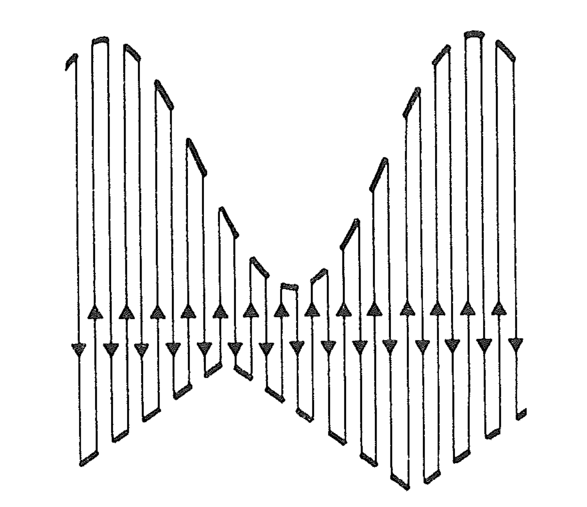
zwakker laat toe zonder problemen zoals de in- als de uitgangsspanning van een vermogensversterker beeldvullend op het scherm te zetten. Bovendien kan men, dank zij de geijkte nauwkeurige verzwakker, de grootte van de signalen rechtstreeks van het scherm aflezen.

Na de ingangsverzwakker volgen de twee versterkers met een versterkingsfactor van 100. Deze trappen zijn bovendien voorzien van een basislijn-verschuiver, waardoor het mogelijk is de twee beelden onafhankelijk van elkaar over het scherm op en neer te verplaatsen. Dit is een handige voorziening omdat men vaak de nuldoorgang van beide signalen precies moet kunnen vergelijken, bijvoorbeeld bij fasemetingen, en dit alleen goed mogelijk is als men de nul-assen van beide signalen op het scherm kan laten samenvallen.

Uit de versterkers worden ook triggersignalen afgeleid die via een elektronische schakelaar naar buiten worden gevoerd en waarmee men de tijdbasis van de oscilloscoop op een van beide ingangssignalen kan laten starten.
De twee overige elektronische schakelaars worden gestuurd uit de omschakelgenerator. Deze levert een langzame of een snelle omschakelfrequentie, zodat of het ene of het andere ingangssignaal met de uitgang verbonden wordt.
De langzame omschakeling noemt men 'ALTERNATE' en bij deze techniek wordt afwisselend een aantal beelden van het ene en van het andere signaal op het scherm geschreven. Bij de snelle omschakeling, die men 'CHOPPED' noemt,

7.19 Tweekanaals schakelaar voor de oscilloscoop

schakelt de straal van de beeldbuis voortdurend om tussen het ene en het andere kanaal, zodat ieder beeld is samengesteld uit een groot aantal monstertjes. Deze liggen echter zo dicht bij elkaar dat men de indruk van een ononderbroken beeld krijgt. De werking van de chopped-mode is grafisch voorgesteld in figuur 4/7.19-2.



Figuur 4/7.19-2: De scherm-opbouw bij CHOPPED-mode.

De generator is voorzien van een potentiometer, waarmee men de omschakelfrequentie met de hand kan bijregelen. Deze voorziening is noodzakelijk omdat er bij bepaalde frequenties interferentie kan optreden tussen de schakel-frequentie en de afbuig-frequentie van de tijdbasis van de oscilloscoop. Er ontstaat dan een onrustig of flikkerend beeld en men kan dit verschijnsel uitschakelen door met de potentiometer de omschakel-frequentie iets bij te regelen.

De voeding

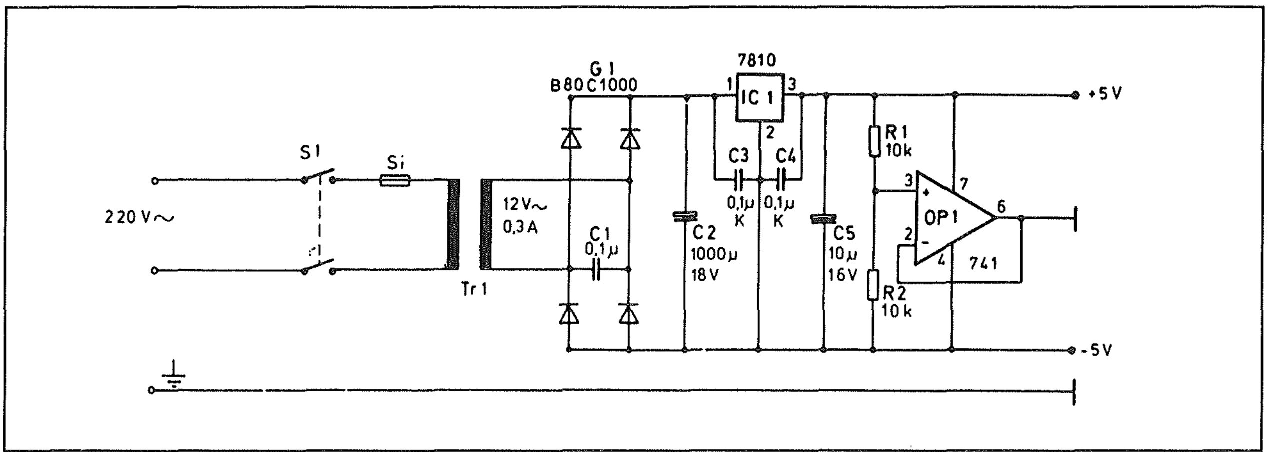
De praktische schakeling van de voeding van de elektronische schakelaar is getekent in figuur 4/7.19-3.
De voeding wekt op een speciale manier twee symmetrische spanningen op van + en –5 V. Uit de enkele secundaire wikkeling van 12 V wordt een ongestabiliseerde gelijkspanning van ongeveer 15 V afgeleid. Deze spanning wordt met behulp van een geïntegreerde spanningsstabilisator van het type 7810 omgezet in een gestabiliseerde spanning van +10 V. Indien dit type niet verkrijgbaar zou zijn kan men zonder bezwaar een algemeen geaccepteerde 7812 inzetten.

De positieve ingang van de operationele versterker OP1 is door middel van de twee weerstanden R1 en R2 ingesteld op de helft van deze spanning, dus op +5 V. De inverterende ingang is rechtstreeks met de uitgang verbonden, de op-amp werkt als spanningsvolger. De uitgang van de opamp wordt gepromoveerd tot massa van de volledige elektronische schakeling van het apparaat. Dit punt staat ten opzichte van de min-aansluiting van de afvlakelco C2 op een spanning van +5 V. Als men de uitgang als massa-referentie beschouwt, staat de negatieve pool van de elco dus op een spanning van –5 V.

Het enige waarop men moet letten is dat de negatieve aansluiting van de afvlakelco bij deze voeding niet met de massa verbonden is, maar met de negatieve voedingsspanning van –5 V!

Als men de schakeling in een metalen kastje inbouwt is het aan te raden deze kast te verbinden met de aarde van het net. Let er wel op dat de massa van de elektronica niet met de kast verbonden mag worden! Dit heeft tot gevolg dat als men BNC ingangsbussen gebruikt deze

7.19 Tweekanaals schakelaar voor de oscilloscoop



Figuur 4/7.19-3: De voeding van het apparaat.

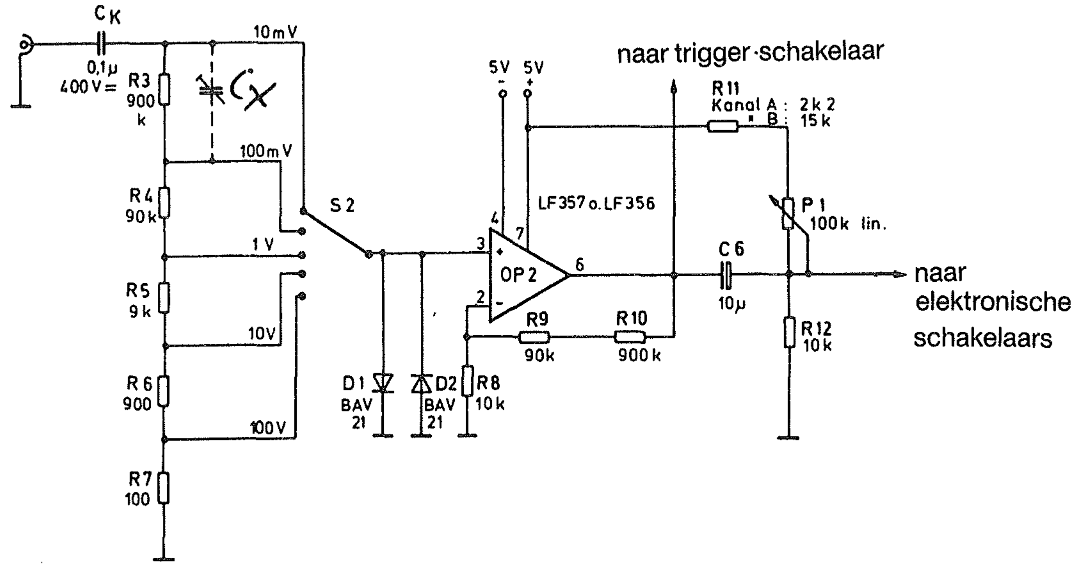
geïsoleerd van de behuizing gemonteerd moeten worden. Zou men de massa met de aarding verbinden, dan kunnen massalussen ontstaan als men meet in schakelingen die ook met de aarding van het net verbonden zijn.

De verzwakkers en versterkers

Het schema van de ingangsschakeling van een kanaal is getekend in figuur 4/7.19-4. Op R11 en R12 na moet men voor alle weerstanden 1% metaal-filmweerstanden gebruiken, tenminste als men prijs stelt op een geijkte schaal.
De weerstanden R3 tot en met R7 vormen de resistieve spanningsdeler die de grootte van het ingangssignaal reduceert tot 1/10, 1/100, 1/1000 of 1/10.000 van de waarde. Natuurlijk moet men rekening houden met de onzichtbare maar wel degelijk aanwezige capacitieve deler die wordt gevormd door de paracitaire capaciteiten van de weerstanden en de bedradingscapaciteiten. Zou men deze paracitaire capacitieve spanningsdeler niet compenseren, dan zou het frequentiebereik van de verzwakker erg slecht zijn. Vandaar dat men over de hoogste weerstand van de deler, R3, een trimmer parallel moet schakelen. De juiste waarde van deze condensator is afhankelijk van de eigenschappen van de gebruike 1% weerstanden en van de manier waarop men de print soldeert. In het proto-type werd een trimmer met een bereik van 25 tot en met 50 pF ingesoldeerd, deze voldeed prima.

De twee dioden D1 en D2 beschermen de operationele versterker tegen te grote ingangsspanningen. Als de spanning op de positieve ingang van de op-amp groter of kleiner wordt dan +/–0,65 V gaat een van deze onderdelen geleiden. Er gaat dan een grote stroom vloeien, waardoor de rest van de spanning afvalt over de ingeschakelde weerstanden van de spanningsdeler.
Noteer dat men voor deze dioden geen normale signaaldioden, zoals bijvoorbeeld het type 1N4148, kan gebruiken. Deze hebben een te grote lekstroom, waardoor de nauwkeurigheid van de spanningsdeler verstoord zou worden. Men moet voor deze dioden speciale zogenaamde 'low leakage' exemplaren toepassen die vrij duur maar op deze plaats echt noodzakelijk zijn.
Bovendien hebben deze dioden een extreem lage eigen capaciteit. Eigenschap die goed van pas komt, de capaciteit van

7.19 Tweekanaals schakelaar voor de oscilloscoop



Figuur 4/7.19-4: Praktisch schema van de ingangsschakeling van een kanaal.

de dioden vormt immers met de hoge weerstanden van de spanningsdeler een laagdoorlaatfilter dat de doorlaatband van de volledige schakeling aardig zou kunnen verzieken.

De spanningsdeler wordt via een scheidingscondensator CK aangesloten op de ingangsspanning. Deze condensator moet een doorslagspanning van 400 V gelijkspanning hebben!

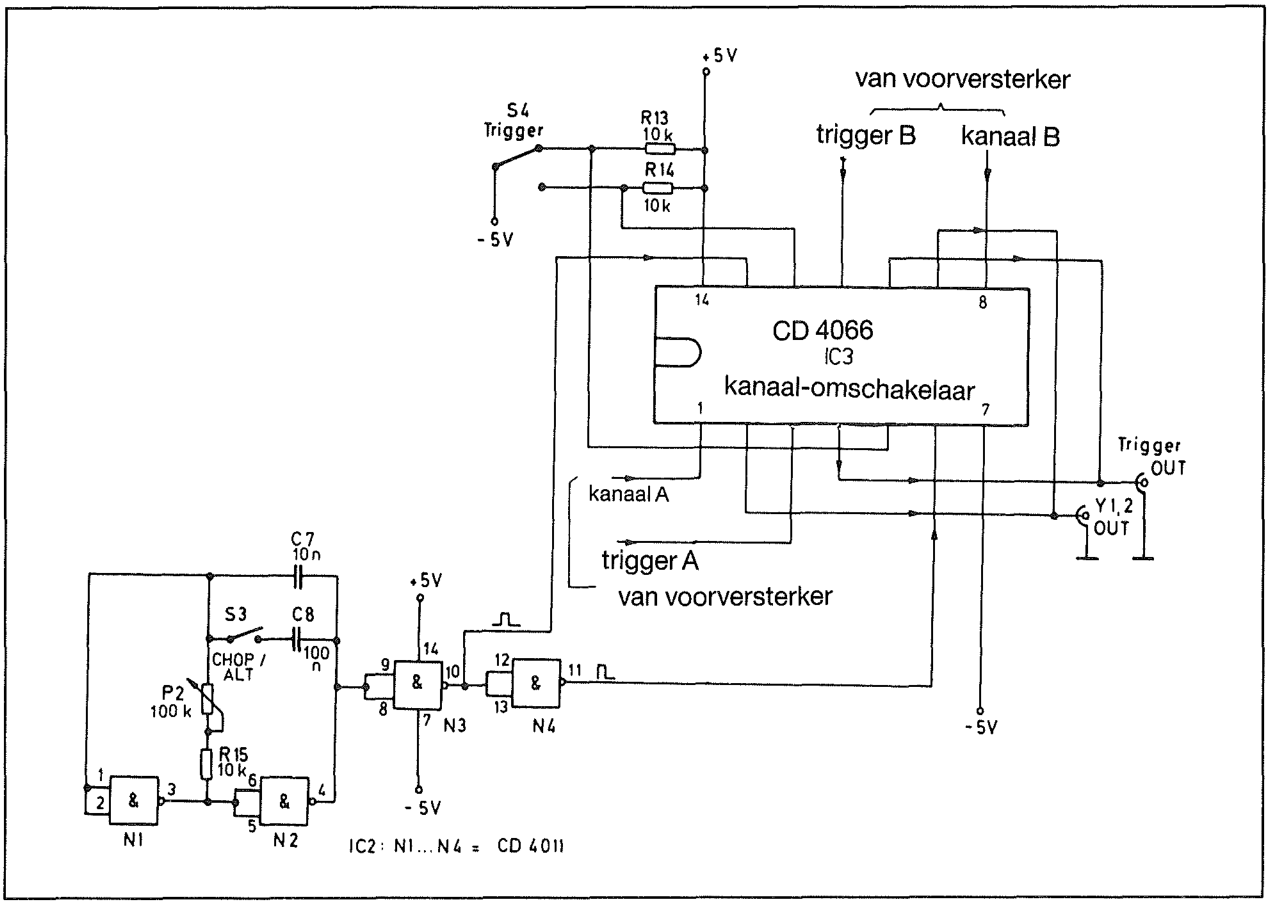
De versterker is als niet-inverterende schakeling samengesteld rond operationele versterker OP2. De weerstanden R8, R9 en R10 stellen de versterking van deze trap op precies 100 in. De uitgang van de op-amp stuurt rechtstreeks de triggerselectie en via de scheidingscondensator C6 het resistieve netwerkje waarmee men de basislijn kan verschuiven. De werking van deze kring is erg eenvoudig. In feite wordt er niets meer dan een resistieve menger opgebouwd, die een van de potentiometer P1 afgeleide gelijkspanning bij het uitgangssignaal van de operationele versterker optelt.

De oscillator en de omschakelaar

Het digitale deel van de schakeling is getekend in figuur 4/7.19-5.
De oscillator is samengesteld uit twee poorten van IC2, een viervoudige NAND van het type 4011. De frequentie wordt bepaald door de condensatoren C7 en C8 en door de weerstanden R15 en P2. Het uitgangssignaal van de multibivrator wordt twee maal geïnverteerd. De twee geïnverteerde signalen sturen de elektronische schakelaars.

Deze schakelaars zijn ondergebracht in IC3, een viervoudige analoge schakelaar van het type 4066. De uitgangen van beide

7.19 Tweekanaals schakelaar voor de oscilloscoop



Figuur 4/7.19-5: De oscillator en de elektronische schakelaars.

versterkers worden aan twee schakelaars aangeboden, die uit de twee ten opzichte van elkaar geïnverteerde blokgolven van de oscillator worden gestuurd. De twee enkelvoudige aan/uit schakelaars zijn dus als enkelvoudige omschakelaar geschakeld. De twee te meten signalen worden afwisselend op het ritme van het oscillator-signaal doorgekoppeld naar de uitgang van het apparaat.

De twee triggersignalen worden via de twee vrijblijvende schakelaars van de 4066 naar de triggeruitgang geleid. Het bedienen van deze twee schakelaars gebeurt echter met de hand. Door het omschakelen van schakelaar S4 wordt een van de stuuringangen met de –5 V voeding verbonden, waarbij de stuuringang van de tweede schakelaar via R13 of R14 met de +5 V verbonden blijft.

7.19 Tweekanaals schakelaar voor de oscilloscoop

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W

R1, R2, R12, R12', R13, R14, R15	=	10 kΩ
R11	=	2,2 kΩ
R11'	=	15 kΩ

Weerstanden, 1%

R3, R3', R10, R10'	=	900 kΩ
R4, R4', R9, R9'	=	90 kΩ
R5,R5'	=	9 kΩ
R6,R6'	=	900 Ω
R7,R7'	=	100 Ω
R8,R8'	=	10 kΩ

Potentiometers, lineair, mono

P1, P1', P2	=	100 kΩ

Condensatoren

C1,C3,C4,C8	=	100 nF, MKH
C2	=	1000 μF, 25 V
C5, C6, C6'	=	10 μF, 16 V
C7	=	10 nF, MKH
CK, CK'	=	100 nF, 400 V
CX, CX'	=	trimmer, 50 pF

Halfgeleiders

G1	=	4 x 1 N 4004
D1, D2, D1', D2'	=	BAV 21

Geïntegreerde schakelingen

IC1	=	7810 of 7812
IC2	=	CD 4011 B
IC3	=	CD 4066 B
OP1	=	741
OP2, OP2'	=	LF 357, LF 356

Diversen

1 x trafo 12 V, 300 mA
1 x zekeringhouder
1 x zekering, 100 mA
1 x netschakelaar, dubbelpolig AAN/UIT
2 x printdraaischakelaars, 2 x 6 standen
2 x tuimelschakelaars, 2XOM
3 x knoppen voor 6 mm as
3 x 8-pens IC-voetje
2 x 14-pens IC-voetje

Bouw van de scoop-schakelaar

Voor de scoop-schakelaar is een printje ontworpen, zie figuur 4/7.19-6 op de transparante pagina, waarop bijna alle onderdelen zich thuis voelen. Het enige dat op de print aangesloten moet worden zijn de secundaire wikkeling van de trafo en de verschillende in- en uitgangen.

De onderdelenopstelling is getekend in figuur 4/7.19-7.
Er bestaan speciale tuimelschakelaars voor printmontage maar deze zijn zeer duur. Veel goedkoper is gebruik te maken van de normale uitvoeringen met soldeeroogjes, in deze oogjes stevige draadjes te solderen en deze nadien door de print te duwen tot de schakelaar op het oppervlak van de print rust. Voor de draaischakelaars kan men de bekende en zeer goed verkrijgbare uitvoeringen met printpennen van LORLIN aanschaffen.
De twee ingangen voor het aansluiten van de te meten signalen en de twee uitgangen die naar de oscilloscoop gaan kan men, als men het professioneel wil aanpakken, uitvoeren met BNC chassisdelen. Omdat het frequentiebereik van de schakeling dit echter niet noodzakelijk maakt kan men uiteraard net zo goed geïsoleerde 4 mm stekerbusjes gebruiken. Deze zijn zonder problemen geïsoleerd van de kast te monteren. Gebruikt men de BNC-delen, dar moet men daar speciale kunststof ringetjes voor zien te krijgen.

7.19 Tweekanaals schakelaar voor de oscilloscoop

Afregelen en gebruik

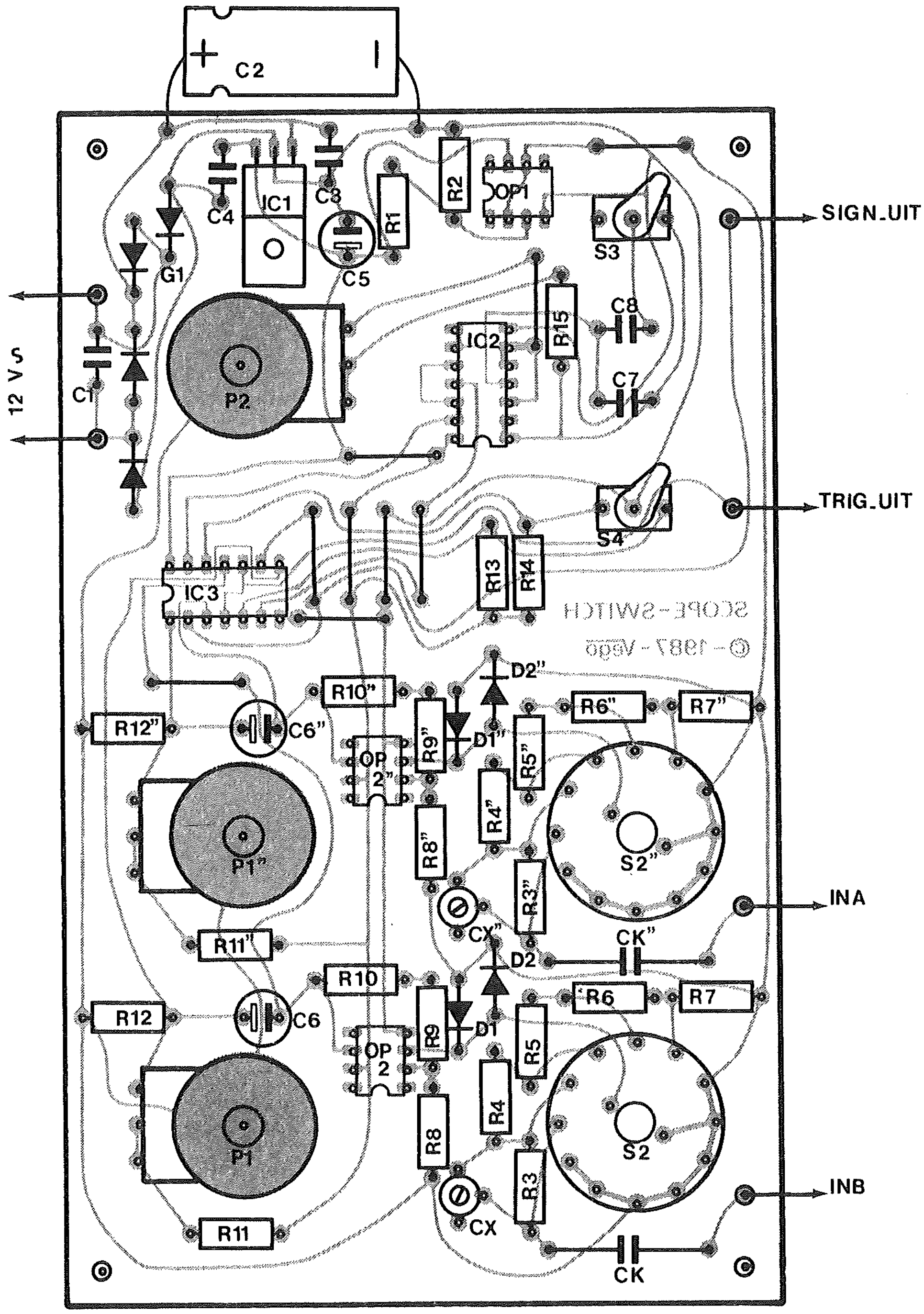
De schakeling heeft slechts twee afregelelementen, de trimmers in de ingangsverzwakkers.

Zet een blokspanning van 1 kHz, 100 mV op een van de ingangen en schakel de scoop op de uitgang van de versterker van dat kanaal. Zet de verzwakkerschakelaar in de stand '100 mV'. Verdraai nu met een niet metalen schroevendraaier het schroefje in de trimmer tot het beeld zo goed mogelijk de ideale blokgolf benadert.

Herhaal de procédure voor het tweede kanaal.

In de praktijk zal men vrij snel met de omschakelaar leren werken. Leer de goede gewoonte aan de verzwakker van de oscilloscoop steeds op de 1 V per verdeling stand te zetten en de grootte van de twee signalen in te stellen met de schakelaars van de scope-switch. De ingang van de oscilloscoop moet op AC staan, de triggering uiteraard op extern. Op welk kanaal men moet triggeren hangt af van de twee signalen die men meet. Als beide signalen een verschillende frequentie hebben triggert men op het signaal met de hoogste frequentie. Bij laagfrequente signalen kan men het best de CHOPPED-mode kiezen en de trigger van de scoop op TV zetten. Men kan nadien de frequentie van het omschakelsignaal instellen op een stabiel beeld. Bij het meten van hoogfrequente signalen zal men vaststellen dat het in de meeste gevallen het best is ook weer naar CHOPPED om te schakelen.

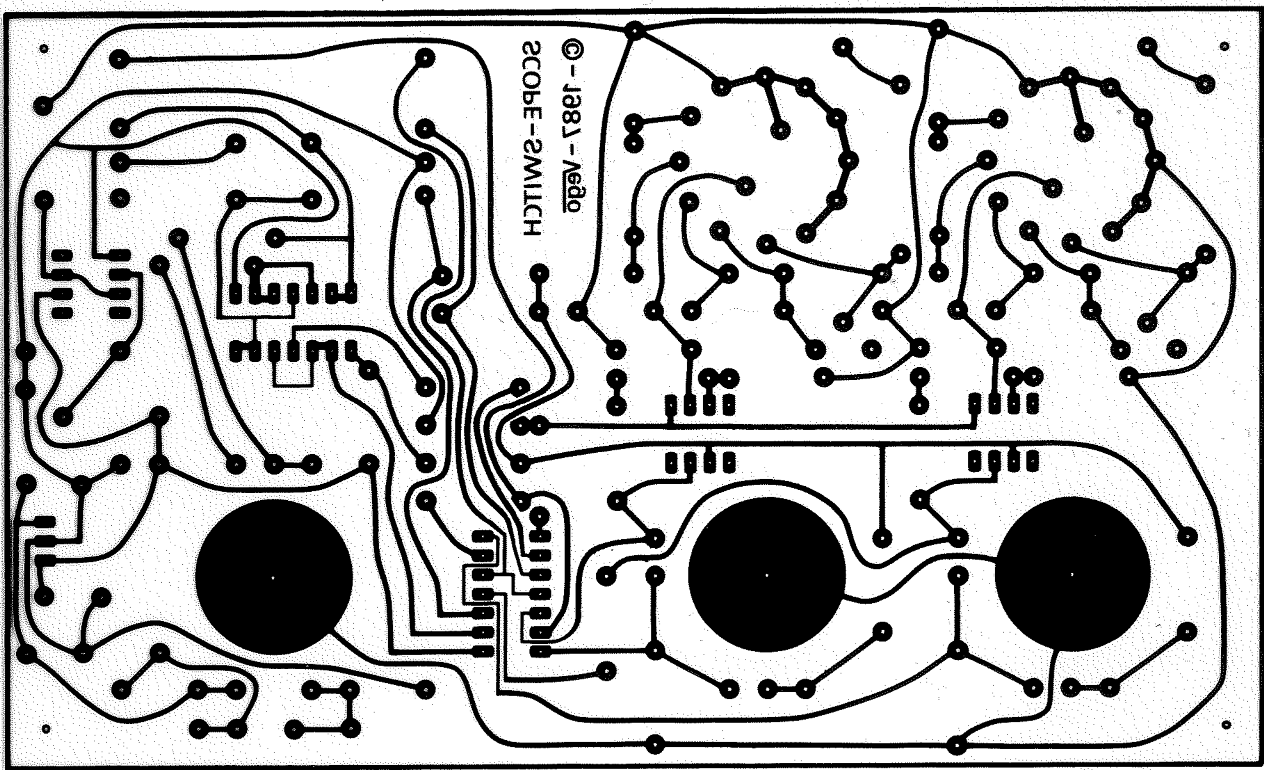
7.19 Tweekanaals schakelaar voor de oscilloscoop



Figuur 4/7.19-7: Componenten-opstelling.

7.19 Tweekanaals schakelaar voor de oscilloscoop

7.19 Tweekanaals schakelaar voor de oscilloscoop



Figuur 4/7.19-6: De print voor de elektronische oscilloscoop-schakelaar.

4/7.20

Eenvoudige multi-tester

Inleiding
In dit hoofdstuk wordt een zeer eenvoudig testertje beschreven, dat uit slechts acht onderdelen bestaat! Toch kan men met dit apparaatje tal van eenvoudige metingen uitvoeren, zoals het doormeten van dioden, LED's, transistoren, printbanen, thyristoren en triac's. Dank zij deze eigenschappen zal het in één uurtje na te bouwen apparaatje geen dag werkloos in het hobby-lab op de werkbank blijven liggen!

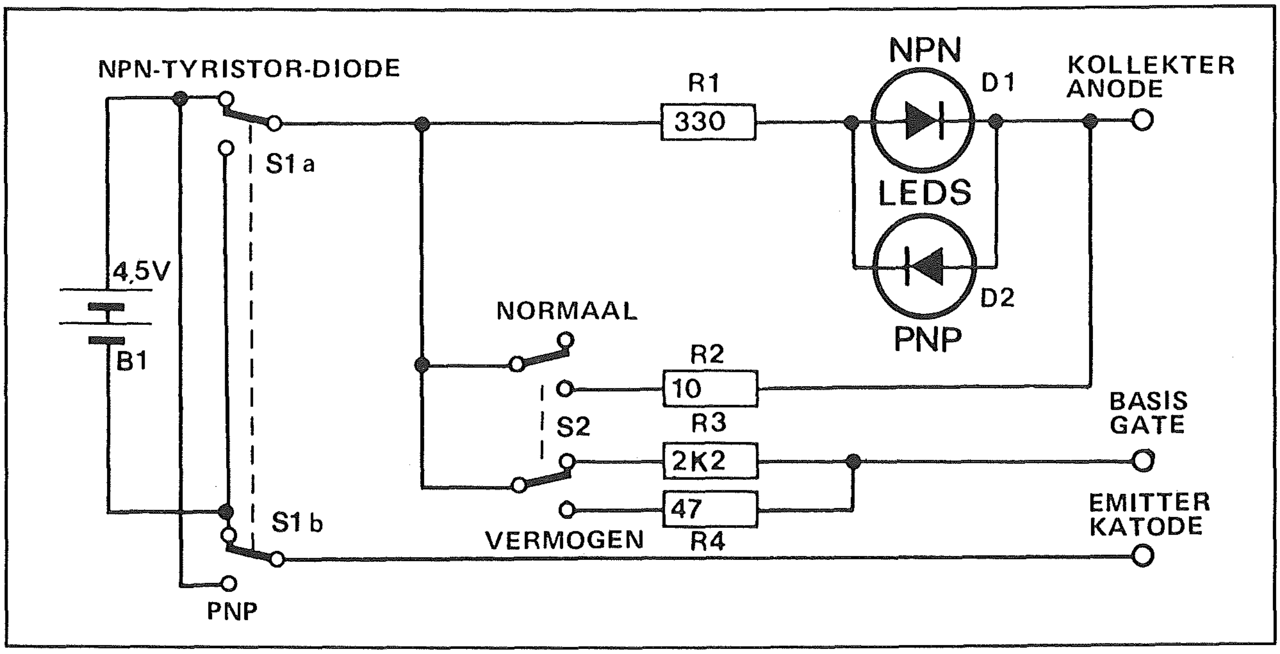
Het schema
Het volledige schema van dit testertje is getekend in figuur 4/7.20-1.

Het geheel wordt gevoed uit een batterij B1 van 4,5 V.
Achter deze batterij staat een dubbelpolige omschakelaar, waarmee men kan omschakelen tussen het testen van NPN- en PNP-halfgeleiders.
Het moedercontact van de onderste omschakelaar S1b gaat rechtstreeks naar een van de drie uitgangen. Deze wordt "EMITTER/KATHODE (E/K)" genoemd.
Het moedercontact van de bovenste omschakelaar S1a gaat via een voorschakelweerstand R1 naar twee anti-parallel geschakelde LED's D1 en D2. Deze LED's zijn verbonden met de tweede uitgang van de tester, "KOLLECTOR/ANODE (K/A)" genoemd.
Hetzelfde moedercontact gaat bovendien nog naar een tweede dubbelpolige omschakelaar S2.
Met deze schakelaar kan men omschakelen tussen "VERMOGEN" en "NORMAAL".

De bovenste schakelaar van S2 zet een weerstand van 10 Ω parallel over de serieschakeling van R1 en de twee LED's. Op deze manier kan men de stroom die door de "K/A"-uitgang kan geleverd worden verhogen tot ongeveer 0,5 A. Dat kan noodzakelijk zijn voor het testen van vermogenstransistoren, triac's en thyristoren.
De onderste schakelaar van S2 schakelt een weerstand van 2,2 kΩ of 47 Ω naar de derde uitgang van de tester.
Deze wordt "BASIS/GATE (B/G)" genoemd.

Hoe het werkt
Als men de twee uitgangen "K/A" en "E/K" doorverbindt, dan zal er een stroom door een van de LED's gaan vloeien.
Deze licht dan op. Op deze manier kan men het apparaatje als zogenaamde "continuiteitstester" gebruiken. Men kan printsporen op een print doormeten, de aansluitingen van wikkelingen van transformatoren opsporen en schakelaarsegmenten van relais identificeren.

7.20 Eenvoudige multi-tester



Figuur 4/7.20-1: Het volledige schema van het testertje.

Door middel van de "B/G"-aansluiting kan men een stroom sturen in de basis van een transistor.
Als de LED oplicht zal de transistor geleiden.
Verbreekt men de verbinding met de basis, dan moet de LED uiteraard doven.
Op dezelfde manier kan men thyristoren en triac's testen.
In de meeste gevallen zal men dan S2 in de stand "VERMOGEN" moeten zetten. Door het vloeien van de gate-stroom moet de thyristor of de triac gaan geleiden. De LED gaat dan branden. Verbreekt men de verbinding met de gate dan moet de LED echter blijven branden. Een eenmaal ontstoken thyristor of triac kan immers alleen gedoofd worden door de stroom onder de houdwaarde te brengen. Dat doet men door even de "K/A"-aansluiting los te koppelen. De LED moet dan doven en gedoofd blijven als men deze verbinding weer herstelt.

Onderdelenlijst

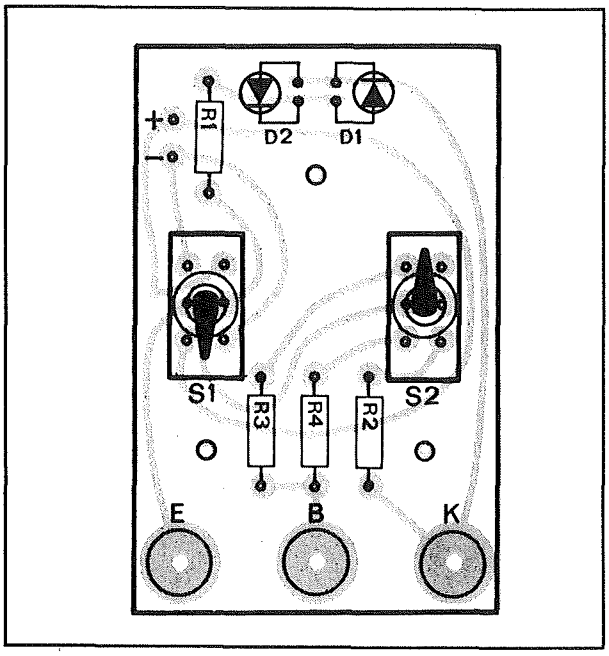
Weerstanden, 1/4 W:
R1 = 330 Ω
R2 = 10 Ω
R3 = 2,2kΩ
R4 = 47 Ω

Halfgeleiders:
D1,D2 = 5 mm LED, rood

Diversen:
2 x tuimelschakelaar, 2 x OM
2 x printsoldeerlipje
3 x stekerbus, 4 mm
1 x kastje, TEKO P/2

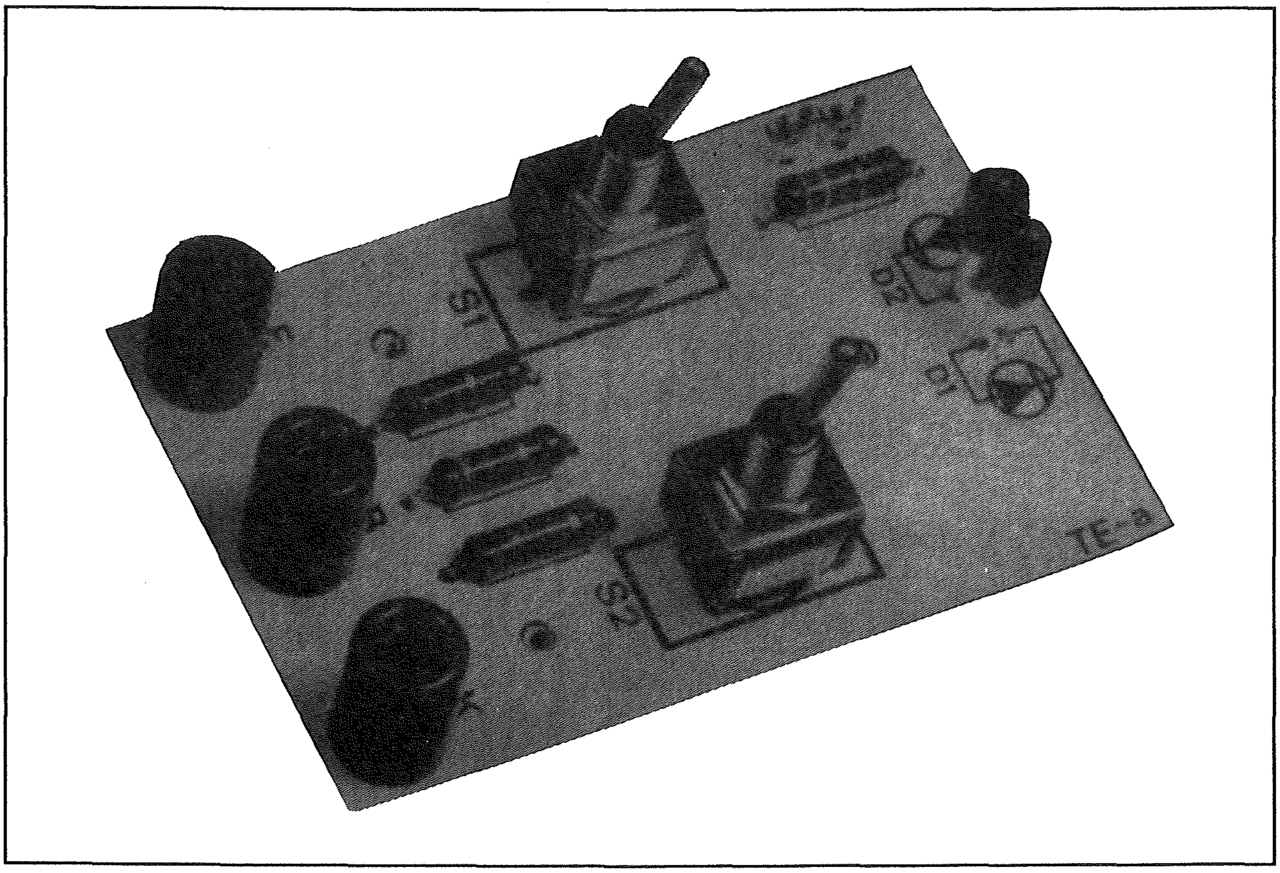
De bouw van de tester
Het printje voor de tester is getekend als figuur 4/7.20-2 op de transparante printpagina.
De componentenopstelling volgt uit figuur 4/7.20-3.

7.20 Eenvoudige multi-tester



Figuur 4/7.20-3: De componentenopstelling voor de tester.

Alle onderdelen kunnen op het printje worden ondergebracht. Na het solderen van de drie weerstanden komen de twee LED's aan de beurt. Deze moeten ongeveer 10 mm boven het printoppervlak uitsteken.
De twee tuimelschakelaars worden aan hun zes aansluitlipjes voorzien van stevige draadjes, bijvoorbeeld de afgeknipte draadeinden van de weerstanden. Nadat men deze met zo weinig mogelijk soldeer op de lipjes heeft bevestigd kan men de schakelaars als ware het echte printuitvoeringen door de gaatjes van de print duwen totdat de schakelaars op het printoppervlak rusten. Nadien aan de achterkant vast solderen en de schakelaars zitten muurvast!



Figuur 4/7.20-4: Het compleet gemonteerde printje.

In de onderste drie gaatjes van de print die, tussen haakjes tot 6,5 mm moeten worden uitgeboord, kan men de drie 4 mm stekerbussen monteren. Alle kunststof busjes worden aan de componentenzijde van de print op de draadbus van de stekerbus geschoven.

Nadien wordt het geheel met het moertje op het koperen eilandje vast geschroefd.
Het solderen van twee printsoldeerlipjes voor het aansluiten van de batterij beëindigt de montage van de print.

In figuur 4/7.20-4 wordt een impressie gegeven van het compleet gemonteerde printje.

De print kan, samen met de batterij, ondergebracht worden in een TEKO kastje en wel een met het typenummer P/2.
In figuur 4/7.20-5 is een ontwerp voor het frontplaatje op schaal 1/1 getekend. Men kan deze figuur kopiëren op karton, uitknippen en op het aluminium frontplaatje van de behuizing plakken.

Hoe het geheel er kan komen uit te zien volgt uit figuur 4/7.20-6, waar een impressie wordt gegeven van het proto-type, klaar voor gebruik.

Testen van transformatoren en dergelijke

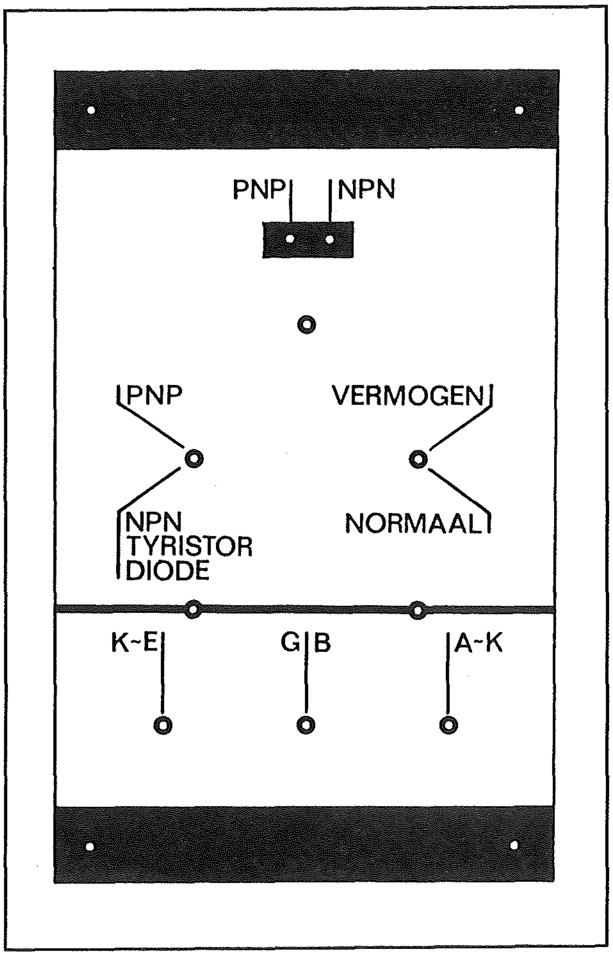
In de plaats van "transformatoren" kan men ook luidsprekers, relaisspoelen, relaiscontacten, kortom alles wat een lage weerstand heeft, lezen.
In dat geval kan men met deze tester meten tussen welke aansluitpunten geen of een zeer lage weerstand staat.
Het basisschema is getekend in figuur 4/7.20-7.

De "K/A"- en "E/K"-aansluitingen van de tester worden met het te onderzoeken onderdeel verbonden.

De twee schakelaars kunnen in een willekeurige stand staan. Gaat een van de LED's branden, dan staat er tussen de twee meetpunten geen of een zeer lage weerstand.

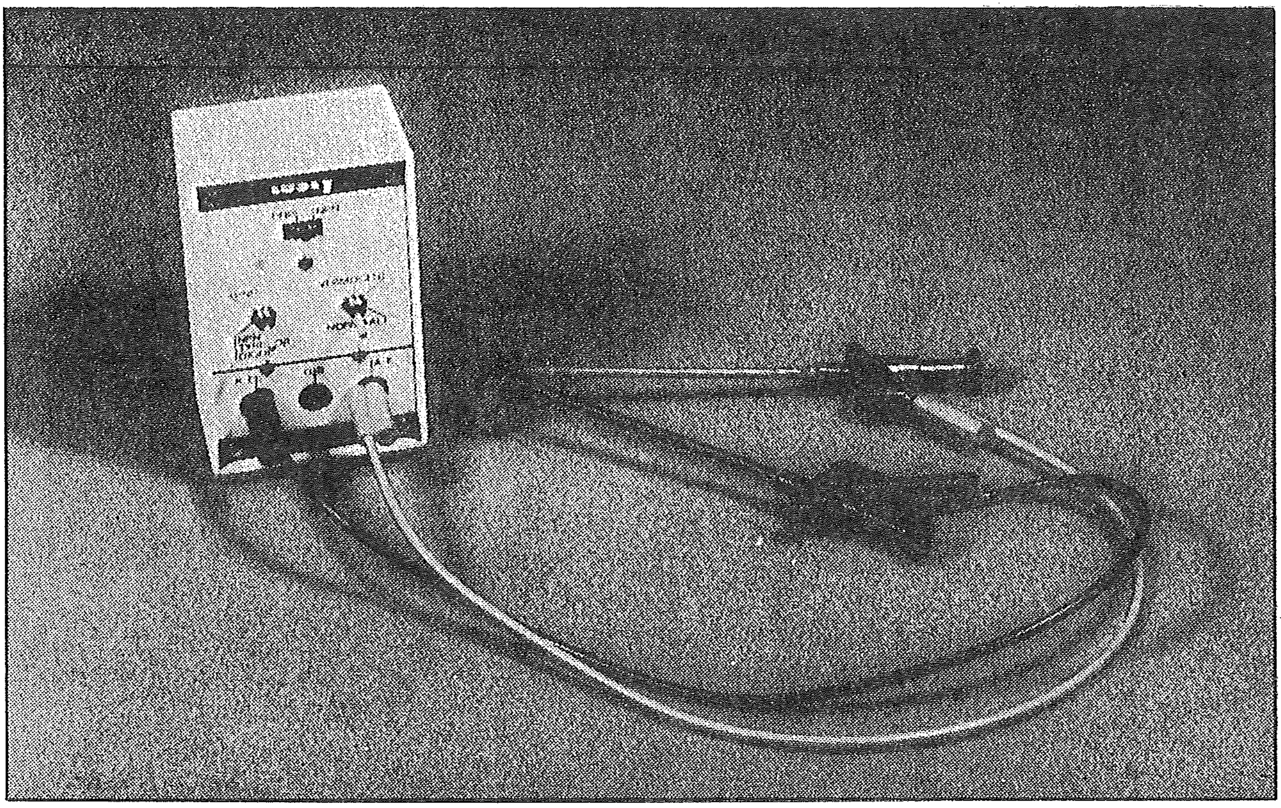
Testen van diodes

Het basisschema voor het testen van diodes is getekend in figuur 4/7.20-8.

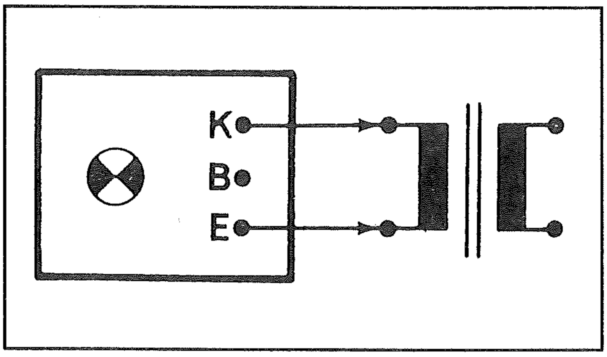


Figuur 4/7.20-5: Een ontwerp voor het frontplaatje van het TEKO kastje.

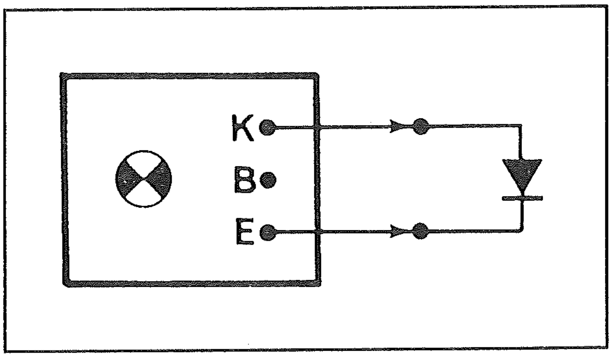
7.20 Eenvoudige multi-tester



Figuur 4/7.20-6: Het proto-type, klaar voor gebruik.



Figuur 4/7.20-7: De tester in gebruik als continuiteitstester.



Figuur 4/7.20-8: Het testen van de werking van diodes.

Eerst wordt schakelaar S1 in de stand "NPN" gezet. De te onderzoeken diode wordt aangesloten tussen de "K/A"- en "E/K"-aansluitingen. Als de "NPN"-LED brandt, dan is de anode van de diode verbonden met de "K/A"-aansluiting van de tester.

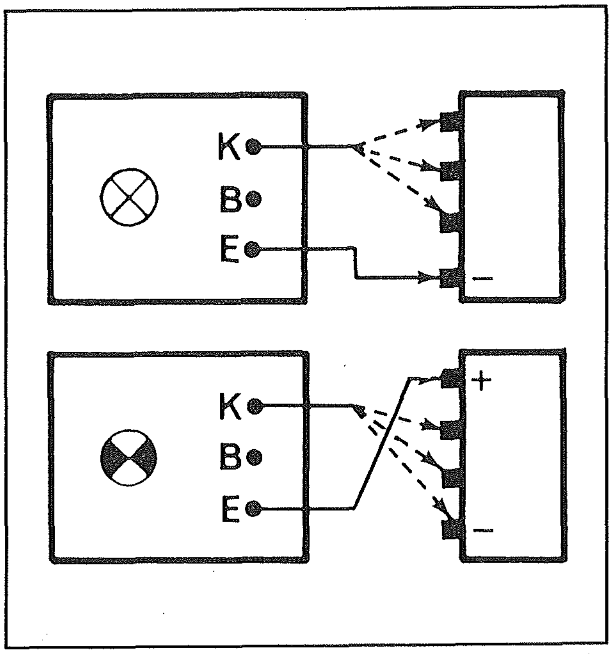
Vervolgens wordt S1 omgeschakeld. Blijft de LED branden, dan is de geteste diode intern kortgesloten.

Brandt de LED in geen van beide gevallen, dan is het onderdeel intern onderbroken.

7.20 Eenvoudige multi-tester

Ook LED's kunnen op deze manier getest worden. Men moet dan wel de schakelaar S2 in de "NORMAAL"-stand zetten, anders is de stroom door de LED veel te groot. Als beide dioden (deze van de tester en de geteste) gaan branden, dan is de anode van de LED weer verbonden met de "K/A"-aansluiting van de tester.

Het testen van bruggelijkrichters
Bij veelvuldig gebruik wil de opgedrukte code van een bruggelijkrichter onleesbaar worden.
Bovendien zijn er tal van SMA-bruggen in de handel, waarop geen code gedrukt staat.
Dank zij deze tester kan men dan heel snel de juiste aansluitingen van het onderdeel opsporen. De methode is geschetst in figuur 4/7.20-9.

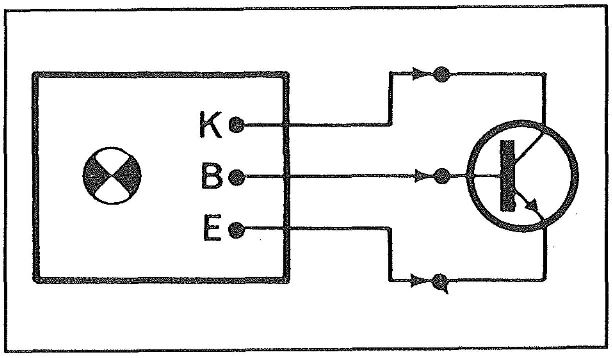


Figuur 4/7.20-9: Het testen van bruggelijkrichters.

De "E/K"-aansluiting van de tester wordt verbonden met een van de vier klemmen van de bruggelijkrichter. Met de "K/A"-aansluiting worden de drie overige pennen van de brug afgetast.
Er kunnen zich dan drie situaties voordoen:
- Als men met de "E/K"-aansluiting van de tester de overige drie aansluitingen aftast, dan gaat de "NPN"-LED steeds branden. Dan heeft men met de "E/K"-aansluiting de positieve uitgang van de brug te pakken!
- De "NPN"-LED brandt in geen van de drie gevallen. Dan is de "E/K"-aansluiting van de tester verbonden met de negatieve aansluiting van de bruggelijkrichter.
- De "NPN"-LED brandt slechts in een van de drie gevallen. Dan is de "E/K"-aansluiting van de tester verbonden met een van de wisselspanningsaansluitingen van de bruggelijkrichter.

Deze procedure gaat er uiteraard van uit dat de bruggelijkrichter in goede conditie verkeert!

Testen van transistoren
In figuur 4/7.20-10 is de procedure getekend voor het testen van een NPN-transistor.

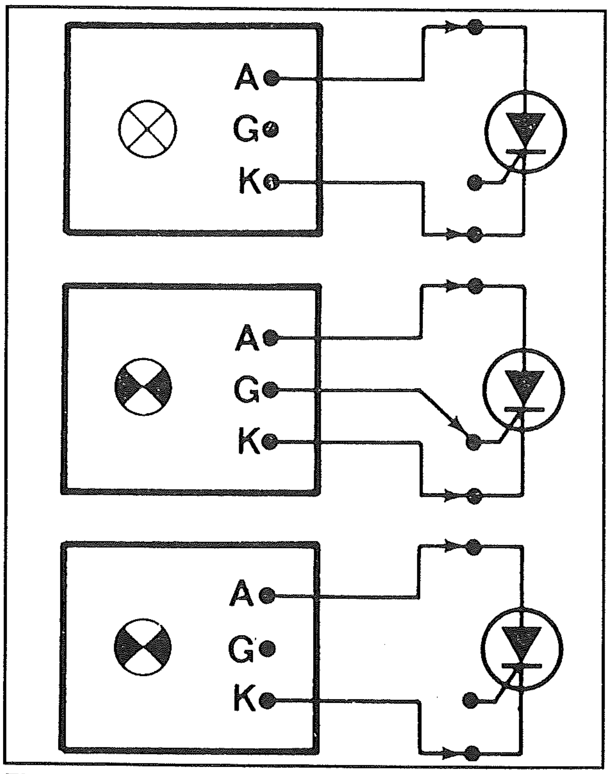


Figuur 4/7.20-10: Het testen van een transistor.

7.20 Eenvoudige multi-tester

Schakelaar S1 wordt, afhankelijk van het type transistor, in de stand "PNP" of "NPN" gezet.
Test men een vermogenstransistor, dan moet schakelaar S2 in de stand "VERMOGEN" worden gezet.
De "K/A"-aansluiting gaat naar de collector, de "E/K"-aansluiting naar de emitter. De LED in de tester mag nu niet branden. Is dat wel het geval, dan heeft de transistor een sluiting tussen emitter en collector. Nadien verbindt met de "B/G"-aansluiting van de tester met de basis. De LED moet nu gaan branden.
Is dat niet het geval, dan is er een interne onderbreking in het basiscircuit of heeft de transistor een zeer lage stroomversterking.

Het testen van thyristoren en triac's
Deze procedure is geschetst in figuur 4/7.20-11.



Figuur 4/7.20-11: Het testen van een thyristor.

Schakelaar S1 wordt in de stand "NPN" gezet, schakelaar S2 in de stand "VERMOGEN".
De "K/A"-klem van de tester gaat naar de anode, de "E/K"-klem naar de kathode. De LED mag niet branden. Vervolgens tipt men de gate-aansluiting van het onderdeel heel even aan met de draad die van de "B/G"-klem van de tester komt. De LED moet nu gaan branden en blijven branden.

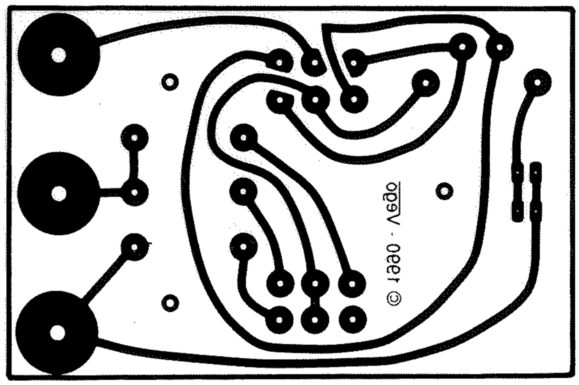
Triac's worden op een identieke manier getest, met de MT1-aansluiting aan de "K/A"-klem van de tester en de MT2-aansluiting aan de "E/K"-klem.

Testen van elco's
Op de eerste plaats worden de twee aansluitingen van het onderdeel even kortgesloten, zodat eventuele restlading kan wegvloeien.
De schakelaar S2 van de tester wordt op de stand "NORMAAL" gezet. De schakelaar S1 gaat naar de stand "NPN". De "E/K"-aansluiting van de tester wordt verbonden met de negatieve pool van de condensator. Vervolgens verbindt men de "K/A"-klem van de tester met de positieve pool en houdt de LED van de tester in het oog. Deze moet eerst fel oplichten, waarna de intensiteit langzaam moet afnemen. Gedurende de felle oplichting heeft de elco zich gevormd (grote stroom door het onderdeel) en de langzaam afnemende intensiteit van de LED is het gevolg van de langzaam dalende oplaadstroom van de elco.
Blijft de LED branden, al is dat nauwelijks zichtbaar, dan heeft de elco een zeer grote lekstroom en kan beter uit het elcobestand verwijderd worden. Het kan echter ook betekenen dat men de elco verkeerd heeft aangesloten.

7.20 Eenvoudige multi-tester

Met enige oefening is het op deze manier zelfs mogelijk de waarde van de elco in te schatten. Weet men uit ervaring dat een elco van 220 μF er ongeveer 5 seconde over doet om de LED volledig te laten doven, dan kan men ieder elco die hetzelfde verschijnsel opwekt inschatten op dezelfde waarde!

7.20 Eenvoudige multi-tester



Figuur 4/7.20-2: De print van de schakeling.

4/7.21 Universele TTL-experimentator

Inleiding

Wat is een experimentator?
Een experimentator is een apparaat waarop men schakelingen kan ontwerpen en deze nadien testen.
De bekendste experimentatoren zijn de zogenaamde "breadboards". Deze bestaan uit een bed met geveerde gaatjes, die in horizontale banen zijn doorgecontacteerd en waarin men de aansluitingen van componenten kan prikken. Door de draadjes in de juiste baantjes van het bed te prikken worden de onderdelen op de gewenste manier met elkaar tot een schakeling verbonden.

Deze werkwijze heeft verschillende voordelen.
- Op de eerste plaats komt er geen soldeerbout aan te pas, zodat men zeer snel een schakeling kan "prikken" en onderdelen vervangen, toevoegen of verwijderen.
- Op de tweede plaats blijven de componenten onbeschadigd, hetgeen niet gezegd kan worden van een MKH-condensator die tien keer in- en uitgesoldeerd is!
- Op de derde plaats blijft ook het gaatjesbed, ook na jarenlang gebruik, onbeschadigd en geraakt het niet vervuild door dikke lagen soldeerflux.

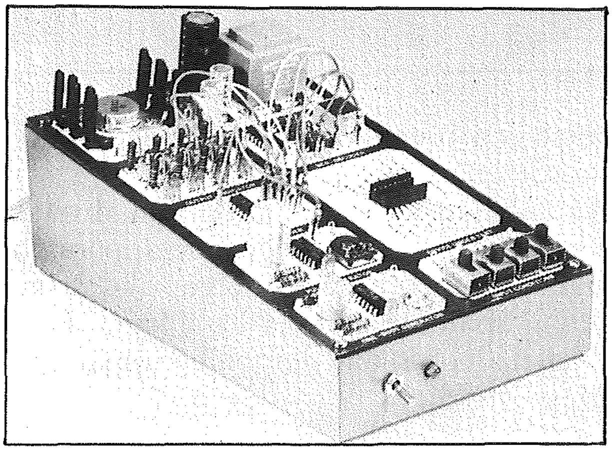
Maar een breadboard heeft nog andere voordelen!
Bij de duurdere apparaten zijn diverse voedingen en eenvoudige meetapparaten ingebouwd, zodat men de geprikte schakeling op het breadboard zélf kan testen. Enig nadeel is dat dergelijke apparaten vrij prijzig zijn.

De TTL-experimentator
De in dit hoofdstuk beschreven TTL-experimentator is een goedkope en beperkte uitvoering van een universeel breadboard. De beperking zit hem voornamelijk in het feit dat men geen schakelingen kan opbouwen. De werking van de experimentator is beperkt tot het testen, onderzoeken en begrijpen van één TTL-IC. Voor de professionele ontwerper zou een dergelijke beperking onbruikbaar zijn. Maar voor de doe-het-zelver kan een dergelijke experimentator erg nuttig en handig zijn.
Wie weet immers precies hoe een flip-flop van het type JK met D-, CK-, R- en S-ingangen werkt? Natuurlijk kan men dat in de data-boeken nalezen. Maar dat is droge theorie! Men leert maar eerst écht de werking van een schakeling doorgronden als men er ook echt in de praktijk mee werkt. Voor dergelijke fundamentele experimenten met individuele TTL-IC's is de beschreven schakeling uitermate geschikt.

7.21 Universele TTL-experimentator

Het principe van het apparaat

De TTL-experimentator bestaat, zie de foto van figuur 4/7.21-1, uit een vrij grote print. Deze print kan als deksel in een kastje worden aangebracht.



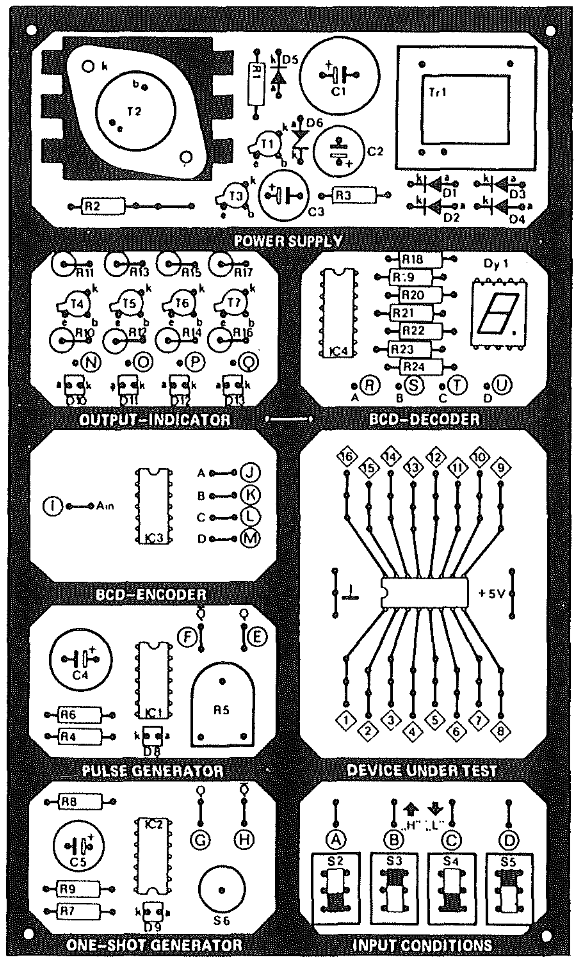
Figuur 4/7.21-1: De universele TTL-experimentator in de praktijk.

Op de print zijn een aantal eenvoudige schakelingetjes ondergebracht, zoals een 5 V voeding, een pulsgenerator, een monostabiele multivibrator, enige indicatoren, een BCD-encoder en een BCD-decoder. In het midden van de print is een 16-polig IC-voetje aangebracht, waarvan de aansluitingen vrij naar buiten zijn uitgevoerd. Alle in- en uitgangen zijn op de print uitgevoerd onder de vorm van printpennetjes. Wil men een schakeling testen, dan volstaat het deze in het IC-voetje te prikken en de aansluitingen met behulp van kleine draadjes met miniatuur fastonstekertjes met de in- en uitgangen van de beschikbare testschakelingetjes op de print te verbinden.

Op deze manier ontstaat een uiterst compact en handig testinstrument, dat mogelijkheden genoeg aan boord heeft om zelfs vrij ingewikkelde TTL-schakelingen zoals schuif- en anders registers te testen.

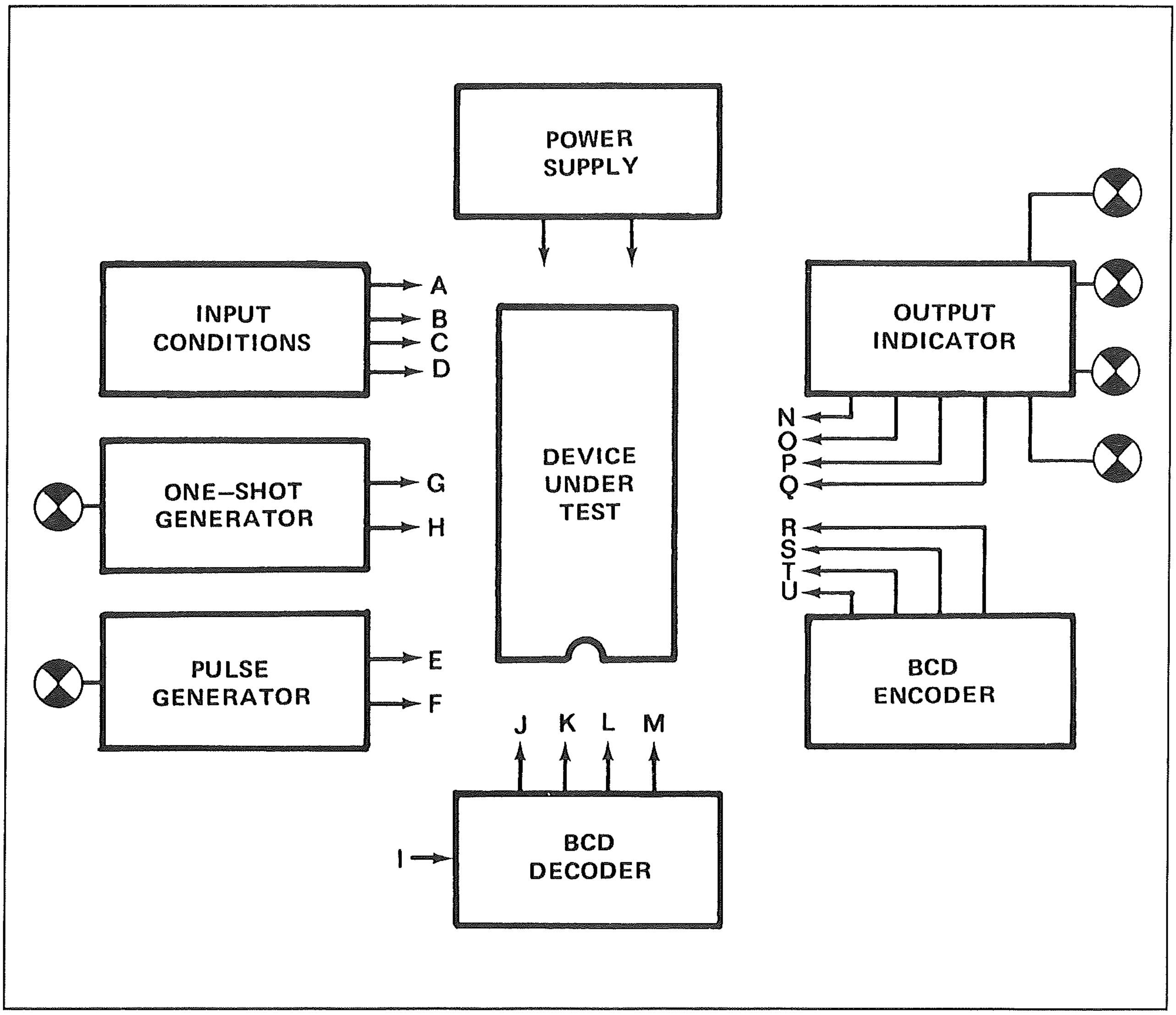
Het uiterlijk van de print

De praktische bruikbaarheid van een dergelijk ontwerp staat of valt met de goede en snelle herkenbaarheid van alle deelschakelingen op de print. Vandaar dat de proto-type print werd voorzien van een keurig ontwerpje, dat verkleind is weergegeven in figuur 4/7.21-2.



Figuur 4/7.21-2: De "opdruk" op de componentenzijde van de print van de universele TTL-experimentator.

7.21 Universele TTL-experimentator



Figuur 4/7.21-3: Het blokschema van de universele TTL-experimentator.

Dat ontwerpje bevat in feite de blokschematische indeling van de totale schakeling. Op deze manier kan men zeer overzichtelijk te werk gaan en ziet men onmiddellijk met welke schakeling een pen van het te onderzoeken IC is doorverbonden. De nabouwers van deze schakeling worden dringend geadviseerd de print, na de productie ervan, van een dergelijke tekening te voorzien. Doorvoor bestaan verschillende systematieken.
Men zou bijvoorbeeld de volledig geboorde print op de componentenzijde kunnen bespuiten met witte, hittebestendige zogenaamde radiatorlak. Niet te dik spuiten, want anders lopen alle gaatjes dicht! Nadat deze laklaag goed droog is kan men met de tekenpen of met afstrijksymbolen de gewenste tekening aanbrengen. Nadien nog eens afspuiten met transparante, niet glanzende lak. Nadat ook deze laklaag goed droog is kan men de onderdelen op de print solderen. Als men snel soldeert zullen de laklagen niet worden aangetast door de hitte van het soldeer. Een tweede mogelijkheid is het printont-

werp op de transparante printpagina te gebruiken als onderlegger voor een tekenvel. Men tekent dan op dit vel alles wat noodzakelijk wordt geacht. Nadien bespuit men de achterzijde van het tekenvel met een dunne laag lijm uit een spuitbus en kleeft het geheel op de componentenzijde van de print.

Het blokschema van de TTL-experimentator

Het blokschema van de universele TTL-experimentator is getekend in figuur 4/7.21-3.

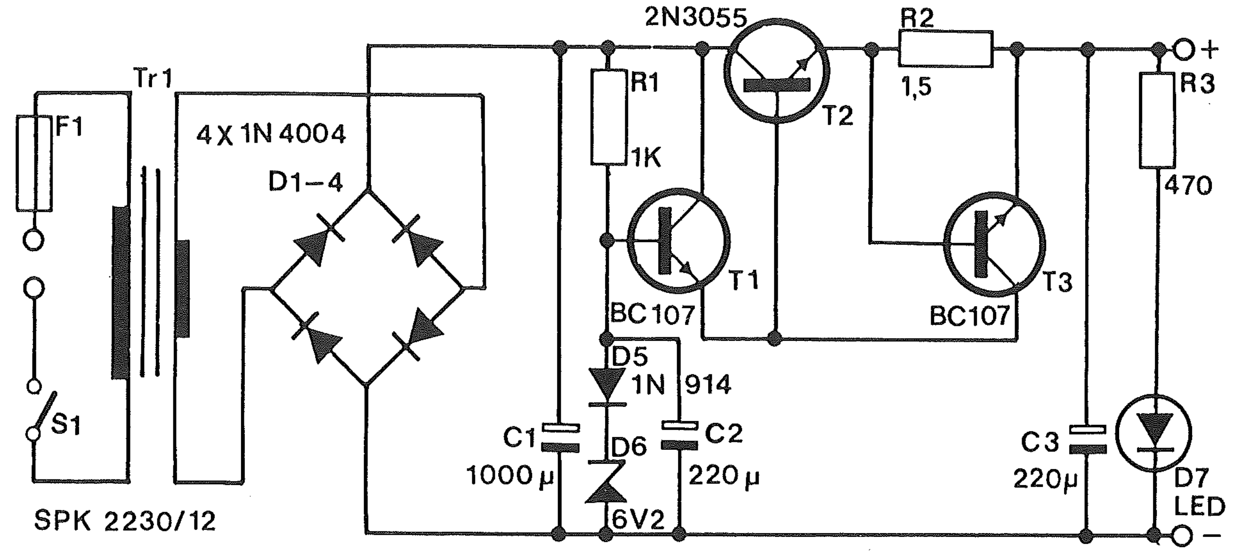
De TTL-trainer is samengesteld uit acht afzonderlijke schakelingen, die volledig los van elkaar staan. In feite zijn de massa- en de voedingslijn de twee enige gemeenschappelijke punten van het gehele apparaat.

Er zijn drie ingangsblokken, links getekend, twee uitgangsblokken, rechts getekend, een voeding (boven) en een BCD-decoder (onder) die wordt gebruikt voor het opwekken van stuurcodes voor het te testen IC.

Een korte beschrijving van de acht blokken.

- De voeding:
  Omdat de schakeling alleen bedoeld is voor het testen van TTL-IC's heeft men uiteraard alleen een 5 V voeding nodig. Deze voeding is uiteraard gestabiliseerd en kan ongeveer 250 mA leveren, hetgeen meer dan voldoende is voor het voeden van de schakelingen van de trainer en het te testen IC. Uiteraard is de schakeling kortsluitvast!
- Het "device under test" of DUT:
  Dit blok hoeft nauwelijks toelichting. Het bestaat uit niets meer dan een 16-polig IC-voetje, waarvan de contacten door middel van drievoudige aansluitstrips bereikbaar zijn voor de buitenwereld. Bovendien staan in dit blokje ook aansluitingen voor de massa en de +5 V ter beschikking.
- De "input conditions":
  Dit blokje is samengesteld uit vier enkelvoudige omschakelaars en definieert de ingangscondities die men aan het te testen IC wil aanleggen. Met deze schakelaars kan men reset's, set's, D- en strobe-ingangen met de massa of met de voeding verbinden. Dat komt, vertaald in binaire termen, uiteraard overeen met het "L" of "H" maken van deze ingangen.
- De "puls generator":
  Is in feite niets meer dan een astabiele multivibrator, die een rechthoekvormige spanning met een instelbare frequentie levert. Daarvoor staat op de print een instelpotentiometertje ter beschikking. De schakeling heeft twee uitgangen, die elkaars logische inverse zijn.
  Bovendien is nog een LED aanwezig, die gaat knipperen op de frequentie van het gegenereerde signaal. Want het zal natuurlijk wel duidelijk zijn dat het bij een dergelijke experimentator geen zin heeft signalen met frequenties van kHz'en aan het te testen IC aan te leggen! Men moet kunnen waarnemen wat er gebeurt en vandaar dat het frequentiebereik van de schakeling begrensd is tussen 1 Hz en 10 Hz.
- De "one shot generator":
  Is een monostabiele multivibrator, die gestuurd wordt met een drukknopje. Iedere keer als men op dit drukknopje drukt, wekt de schakeling een puls op met een periode van ongeveer 1 s. Ook dit blok heeft een geïnverteerde uitgang en een LED die gaat branden als de puls op de uitgang aanwezig is.

7.21 Universele TTL-experimentator



Figuur 4/7.21-4: Het praktische schema van de voeding.

Met deze schakeling kan men bijvoorbeeld een reset-puls aan een IC aanbieden, maar men kan deze pulsen ook gebruiken om een teller zijn volledige telcyclus te laten doorlopen. Het voordeel van de one shot is dat de schakeling een volledige ontdendering biedt van de drukknop. Men is er zeker van dat de schakeling maar één puls opwekt als men op de drukknop drukt.

- De "output indicator":
  Deze bestaat uit vier identieke schakelingen, die de aan- of afwezigheid van een positieve spanning op hun ingangen vertalen naar het oplichten van een LED. Met deze viervoudige schakeling kan men dus het niveau op vier uitgangen van het geteste IC observeren.
- De "BCD-decoder":
  Deze schakeling ontvangt vier logische signalen op zijn vier ingangen en stuurt een zeven segment indicator. Met behulp van deze schakeling kan men dus de logische samenstelling van een vier bit breed woord in decimale vorm controleren.
  Ideaal om de telcyclus van een teller of deler stap voor stap te kunnen volgen zonder iedere keer de binaire code te moeten omrekenen naar een decimale betekenis!
- De "BCD-encoder":
  Deze schakeling bestaat uit een tienteller, waarvan de vier uitgangen naar buiten worden gevoerd. De teller kan gestuurd worden met een pulstrein, bijvoorbeeld van de "puls generator" of van de "one shot generator". Op deze manier heeft men de mogelijkheid op een handige manier iedere gewenste binaire code aan vier ingangen van een te testen IC aan te leggen.

Bespreking van de schakeling

De voeding

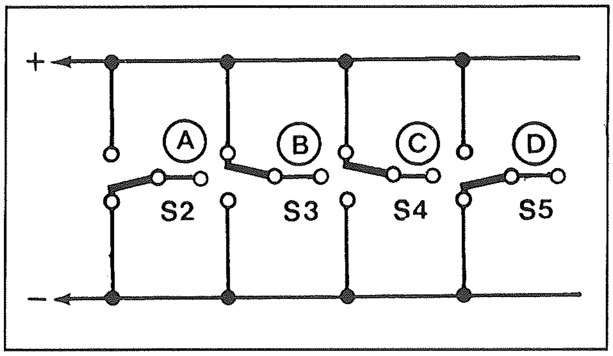
Het praktische schema van de voeding is getekend in figuur 4/7.21-4.

Omdat de TTL-experimentator in eerste instantie werd opgezet als studieproject voor elektronica-studenten werd bewust geen gebruik gemaakt van een oh zo gemakkelijke, maar nietszeggende moderne stabilisator. Er werd een heus klein gestabiliseerd voedinkje met stroombegrenzing gebouwd.
Voor de ervaren lezer van "Elektronica Hobby" zal de schakeling geen verrassingen bevatten. Na gelijkrichting en afvlakking van de secundaire trafo-spanning van 12 V wordt er met behulp van de zenerdiode D6 en de siliciumdiode D5 een gestabiliseerde spanning van ongeveer 7,5 V gegenereerd.
Deze spanning wordt aangeboden aan de basis van de darlington-trap T1/T2. Tussen de uitgang van de darlington (de collector van transistor T2) en de uitgang van de voeding is een stroomsensorweerstand R2 opgenomen. Zolang de afgenomen stroom kleiner is dan ongeveer 250 mA valt over de weerstand een spanning die te laag is om de transistor T3 in geleiding te sturen. De schakeling werkt als gestabiliseerde voeding. Wordt de stroom groter dan deze waarde, dan gaat transistor T3 geleiden. Hierdoor wordt de basisspanning van transistor T1 naar de emitterspanning getrokken. Transistor T2 gaat dus minder geleiden met als logisch gevolg dat de collectorstroom daalt en de uitgangsstroom automatisch wordt begrensd.

De uitgangsspanning wordt nog eens extra afgevlakt met behulp van de condensator C3 en stuurt via de voorschakelweerstand R3 de indicatie-LED D7 van het apparaat.

De "input conditions"

Het schema van dit blok is getekend in figuur 4/7.21-5.

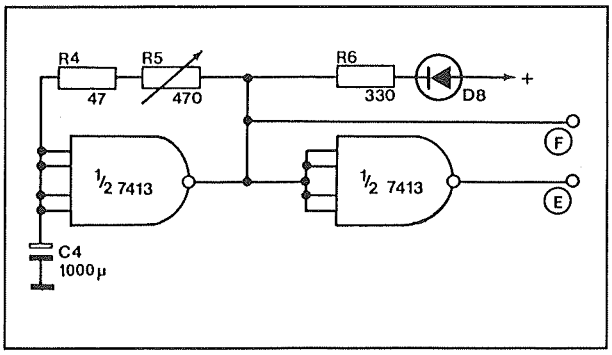


Figuur 4/7.21-5: Het praktische schema van de schakeling die de ingangscondities voor het te testen IC levert.

De schakeling bestaat uit niets meer dan vier enkelpolige omschakelaars, die de uitgangen A, B, C en D verbinden met de massa of de voeding.

De "puls generator"

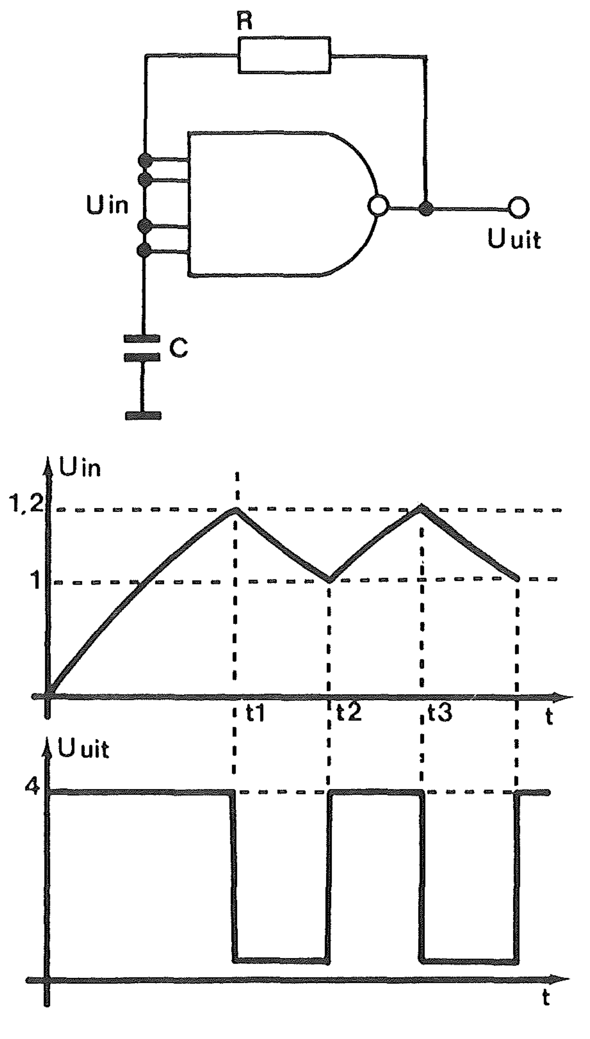
Het praktische schema van de pulsgenerator is getekend in figuur 4/7.21-6.



Figuur 4/7.21-6: Het schema van de pulsgenerator.

7.21 Universele TTL-experimentator

De schakeling bestaat uit een Schmitt-trigger poort uit een 7413 en een buffertje. De uitgang van de eerste poort wordt teruggekoppeld naar de parallel geschakelde ingangen via de weerstanden-combinatie R4 en R5. De gemeenschappelijke ingangen gaan via de condensator C4 naar de massa.
De werking van de schakeling wordt toegelicht aan de hand van de grafieken in figuur 4/7.21-7.



Figuur 4/7.21-7: De werking van de pulsgenerator grafisch toegelicht.

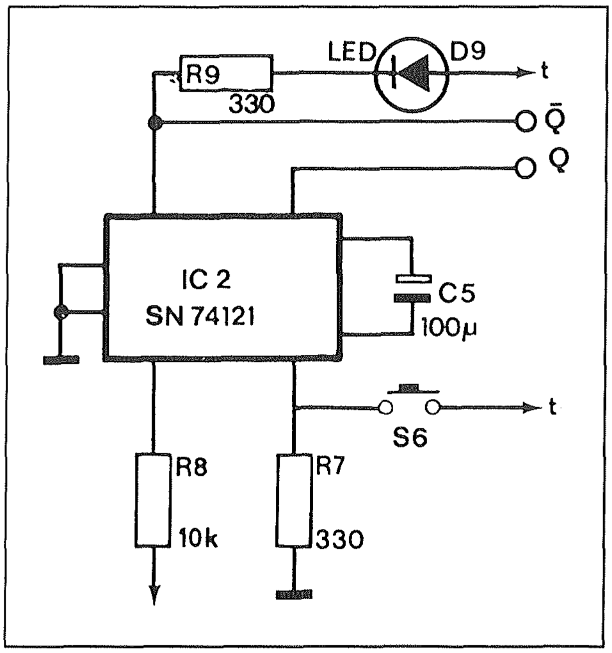
Een Schmitt-trigger is een gewone inverterende poort, maar met één speciale eigenschap. De drempelspanning, waarbij de uitgang omschakelt van het ene naar het andere logische niveau is niet constant, maar afhankelijk van de richting waarin de ingangsspanning varieert. Gaat de ingangsspanning van "L" naar "H", dan schakelt de uitgang om van "H" naar "L" als de ingangsspanning gelijk wordt aan ongeveer 1,7 V. Daalt nadien de ingangsspanning weer, dan schakelt de uitgang echter maar om bij een ingangsspanning van ongeveer 1,0 V. Dat verschil tussen de twee drempels noemt men de "hysteresisch" van de Schmitt-trigger.
Dank zij deze basiseigenschap van de Schmitt-trigger kan men de schakeling heel eenvoudig inzetten als astabiele multivibrator. Bij het inschakelen van de voedingsspanning is de condensator C4 (figuur 4/7.21-6) volledig ontladen. De uitgang van eerste poort is dus "H". De condensator gaat via de weerstanden R4 en R5 opladen uit deze hoge spanning. De condensatorspanning stijgt, op moment t_1 wordt deze gelijk aan de bovenste drempel van de Schmitt-trigger. De uitgang gaat naar "L". De condensator gaat nu via dezelfde weerstanden ontladen. Op tijdstip t_2 wordt de ingangsspanning gelijk aan de onderste spanningsdrempel. De uitgang gaat weer naar "H" en het proces kan zich gaan herhalen. Op de uitgang ontstaat dus een rechthoekvormige spanning, waarvan de frequentie wordt bepaald door de snelheid waarmee de condensator op- en ontlaadt. Deze snelheid is in te stellen met behulp van de potentiometer R5.
De tweede poort uit de 7413 wordt gebruikt als inverter, zodat de schakeling twee ten opzichte van elkaar geïnverteerde signalen op de punten E en F kan

7.21 Universele TTL-experimentator

leveren. De LED D8 gaat branden als het signaal op punt F "L" wordt.

De "one shot generator"

Het praktische schema van de monostabiele multivibrator is getekend in figuur 4/7.21-8.



Figuur 4/7.21-8: Het praktische schema van de monostabiele multivibrator.

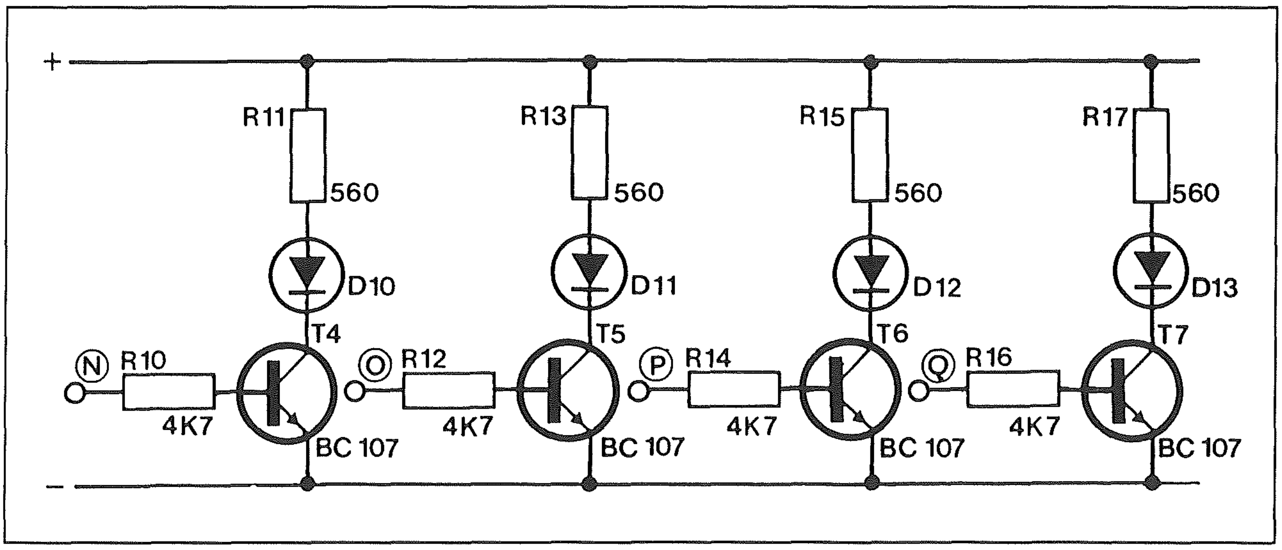
Er wordt gebruik gemaakt van een geïntegreerde MMV van het type 74121. De schakeling heeft twee uitgangen Q en $\overline{Q}$ en een triggeringang. Deze laatste wordt via de weerstand R7 met de massa verbonden en via de drukknop S6 aangesloten op de voedingsspanning. In rust zal de Q-uitgang op logisch "L" staan. Drukt men even op de drukknop, dan gaat deze uitgang gedurende een bepaalde tijd naar "H". Deze pulsduur wordt bepaald door de waarde van de condensator C5.

Ook nu wordt een LED op de Q-uitgang aangesloten om de hoogst noodzakelijke visuele controle op de werking van de schakeling te krijgen.

De "output indicator"

Ook deze schakeling is de eenvoud zelve, zie figuur 4/7.21-9 waar dit deel van de schakeling is getekend.

De schakeling bestaat uit vier eenvoudige schakeltrappen, waarbij de belasting van iedere trap gevormd wordt door een LED. Als er op de ingang een "H" wordt gezet gaat de transistor geleiden en gaat de LED branden.

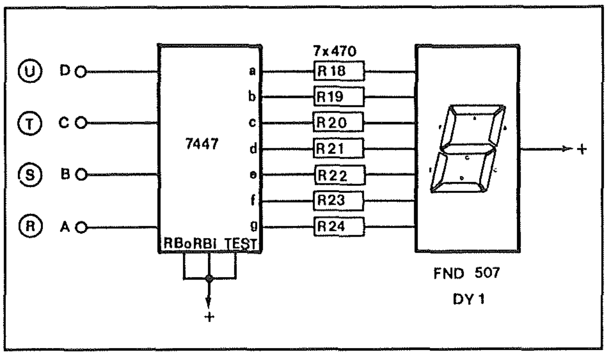


Figuur 4/7.21-9: Het praktische schema van de uitgangsindicatoren.

7.21 Universele TTL-experimentator

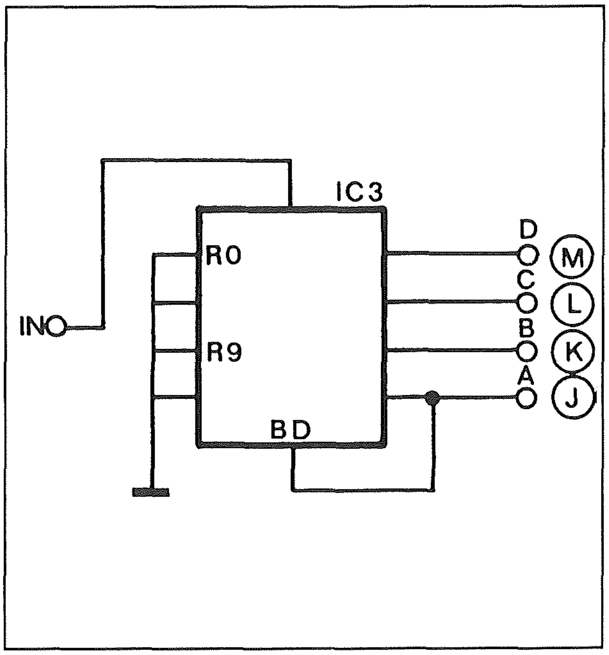
De "BCD-decoder"

Het schema van de BCD-decoder wordt voorgesteld in figuur 4/7.21-10.



Figuur 4/7.21-10: Het praktische schema van de BCD-decoder.

De schakeling is samengesteld uit een 7447, zeven weerstanden en een zeven segment display. De 7447 vertaalt de BCD-code op zijn vier ingangen R, S, T en U naar signalen die de betreffende segmenten van het display aansturen. Er moet een display met gemeenschappelijke anodes worden toegepast, zoals een FND 507.



Figuur 4/7.21-11: De praktische schakeling van de BCD-encoder.

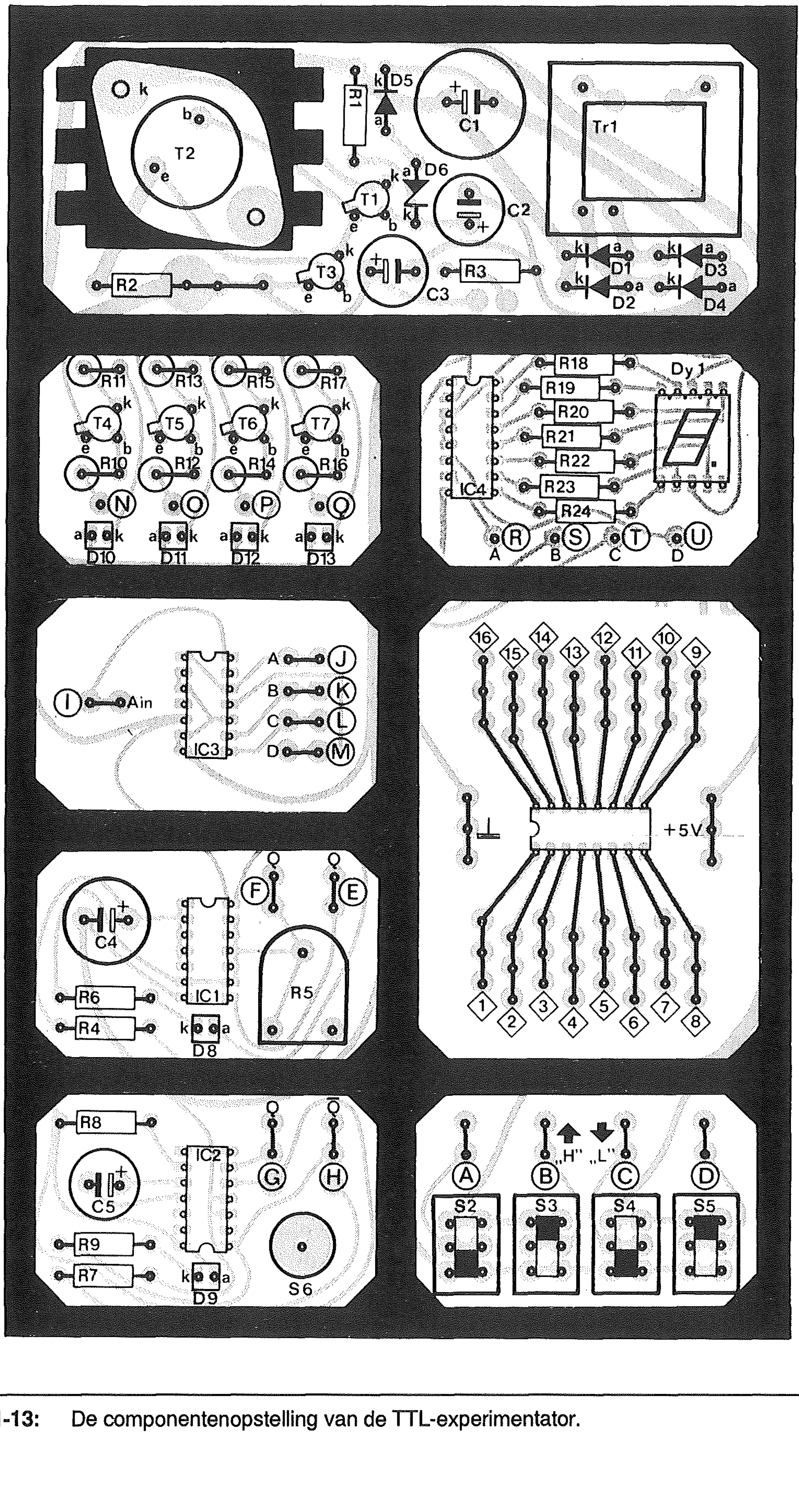
De "BCD-encoder"

Deze schakeling, getekend in figuur 4/7.21-11, bestaat uit een tienteller van het type 7490.
De teller kan gestuurd worden met het signaal van de pulsgenerator of monostabiele multivibrator en wekt op zijn vier uitgangen J, K, L en M de BCD-code op van het aantal getelde pulsen.

De bouw van de schakeling

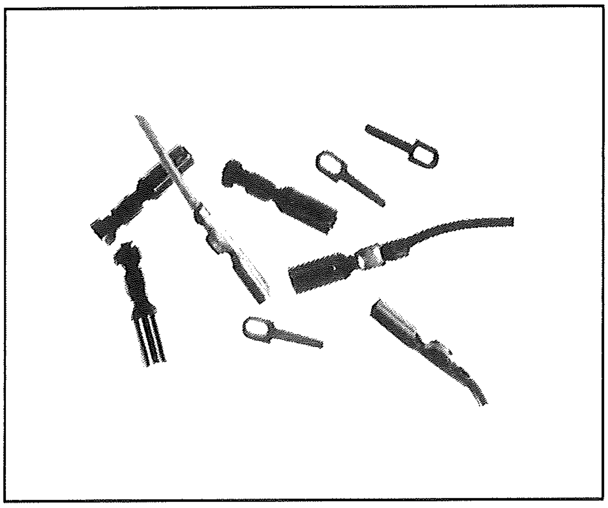
De print en zijn montage

De print voor de TTL-experimentator is getekend in figuur 4/7.21-12, op de transparante printpagina.
De componentenopstelling volgt uit figuur 4/7.21-13. Let op de ene draadbrug tussen de "output indicator" en de "BCD-decoder!
Na deze ene draadbrug moet men de print voorzien van de soldeerpennetjes. Dat zijn er ongeveer 100 en deze komen in de gaatjes die in de componentenopstelling voorzien zijn van een code in een cirkeltje of een vierkantje. Let op het soort soldeerpennetjes. Men kan gebruik maken van de ronde pennetjes, waarop de eveneens ronde faston-stekertjes passen. Maar er bestaan ook stekertjes die op platte soldeerlipjes passen. Deze worden voorgesteld in figuur 4/7.21-14.
Bij het blokje "output indicator" moeten alle weerstanden uit plaatsgebrek rechtop gemonteerd worden. De ene liggende instelpotentiometer past in een 10 x 15 mm raster van de print. De ene miniatuur drukknop van de "one shot generator" moet in het grote gat van de print geschroefd worden.



Figuur 4/7.21-13: De componentenopstelling van de TTL-experimentator.

7.21 Universele TTL-experimentator



Figuur 4/7.21-14: De platte soldeerlipjes en de dito faston-stekertjes die om deze lipjes passen.

Nadien soldeert men twee draadjes tussen de aansluitlipjes van de schakelaar en de niet van gaatjes voorziene soldeereilandjes op de print. Het blokje "input conditions" is voorzien van vier kleine schuifschakelaartjes. De print kan zo geboord worden dat deze schakelaartjes met hun aansluitpennentjes door de gaten geduwd kunnen worden, zodat de onderzijde van het lichaam op de print rust. Sommige schakelaars hebben beugeltjes ter bevestiging op een chassis. Deze moeten gesloopt worden omdat zij in de weg zitten.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W:

R1	=	1	kΩ	
R2	=	1,5	Ω	(1 Ω)
R3,R18,R19, R20,R21,R22, R23,R24	=	470	Ω	
R4	=	47	Ω	
R6,R7,R9	=	330	Ω	
R8	=	10	kΩ	
R10,R12,R14, R16	=	4,7	kΩ	
R11,R13,R15, R17	=	560	Ω	

Instelpotentiometer, 10x15, liggend:

R5	=	470	Ω

Condensatoren:

C1,C4	=	1000	µF	25 V elco
C2,C3	=	220	µF	12 V elco
C5	=	100	µF	6 V print

Halfgeleiders:

D1,D2,D3,D4	=	1N4004
D5	=	1N4148
D6	=	6V2 zener
D7,D8,D9,D10, D11,D12,D13	=	5 mm LED groen
T1,T3,T4,T5, T6,T7	=	BC107
T2	=	2N3055
IC1	=	7413
IC2	=	74121
IC3	=	7490
IC4	=	7447
Dy1	=	FND507

Diversen:

1 x printtrafo 12 V, 300 mA, zoals Spitznagel SPK2230/12
1 x printzekeringhouder met 300 mA zekering
1 x aan-uit tuimelschakelaar
4 x schuifschakelaar miniatuur
1 x miniatuur drukknop
1 x koelplaat voor TO-23
1 x IC-voetje, 16 pens
100 x printaansluitlipje
40 x faston-stekertje
1 x netkabel met steker
1 x TEKO-kast type P-4

De eindmontage

De print is zo ontworpen dat zij zonder meer als deksel kan gebruikt worden op

een kastje van het type P-4 van Teko. Maar wil de TTL-experimentator echt handig in het gebruik worden, dan moet deze kast enige mechanische voorbereidingen ondergaan. De grootste klus is het afschuinen van de bovenzijde van de kast, zodat een aflopend bedieningspaneel ontstaat. De bovenkant van de kast, dus die kant waar de trafo staat, moet precies 67 mm hoog worden. De onderkant van de kast wordt 37 mm hoog. Nadat men deze punten heeft afgetekend op de zijwanden van de kast en met een lijntje verbonden kan men door middel van een ijzerzaag of een Stanley-mes het bovenste gedeelte van de kast verwijderen. De vier bevestigingssteunen voor de print moeten nadien afzonderlijk op maat gebracht worden, zodat de print netjes in de kast past. De achterkant van de kast wordt voorzien van twee gaatjes, eentje voor het netsnoer en eentje voor de zekeringhouder. In de voorzijde van de kast komen eveneens twee gaatjes, namelijk eentje voor de aan/uitschakelaar en eentje voor de indicatie-LED van de voeding.
De enige externe bedrading is het verbinden van de serieschakeling van netschakelaar en zekering met de printaansluitingen (natuurlijk op de koperzijde, zodat men aan de bovenzijde van de print nergens netspanning kan aanraken) en met het netsnoer. Tot slot moet men de indicatie-LED (alweer aan de koperzijde) verbinden met de twee soldeereilandjes onder de weerstand R3.
Tot slot kan men de print met vier zelftappende schroefjes in de bevestigingssteunen van de kast bevestigen.

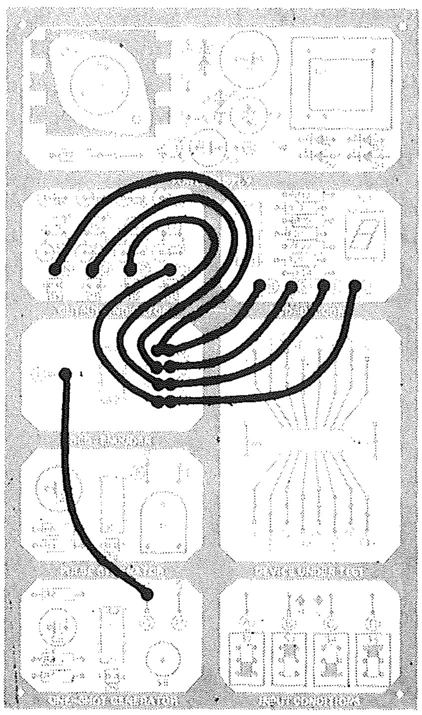
De draadjes

Tot slot moet er nog een zeer bewerkelijke klus uitgevoerd worden: het maken van de testdraadjes.
In eerste instantie zijn een twintigtal draadjes meer dan voldoende. Een geschikte lengte is 15 cm.
Deze worden aan beide zijden voorzien van de reeds genoemde faston-stekertjes, zie ook figuur 4/7.21-14.

Het werken met de TTL-experimentator

De eerste test

Bij het inschakelen van de voeding moet de indicatie-LED van de voeding gaan branden en moet de LED van de "puls generator" gaan knipperen. De frequentie van dit verschijnsel moet regelbaar zijn met de instelpotentiometer.



Figuur 4/7.21-15: De bedrading voor het eerste experiment.

7.21 Universele TTL-experimentator

Als men op de drukknop van de "one shot generator" drukt moet de LED in dit blokje voor ongeveer 1 s gaan branden. Vervolgens verbindt men de vier ingangen van het blokje "output indicator" een na een met de voeding. De LED-jes van dit blok moeten dan een na een oplichten.

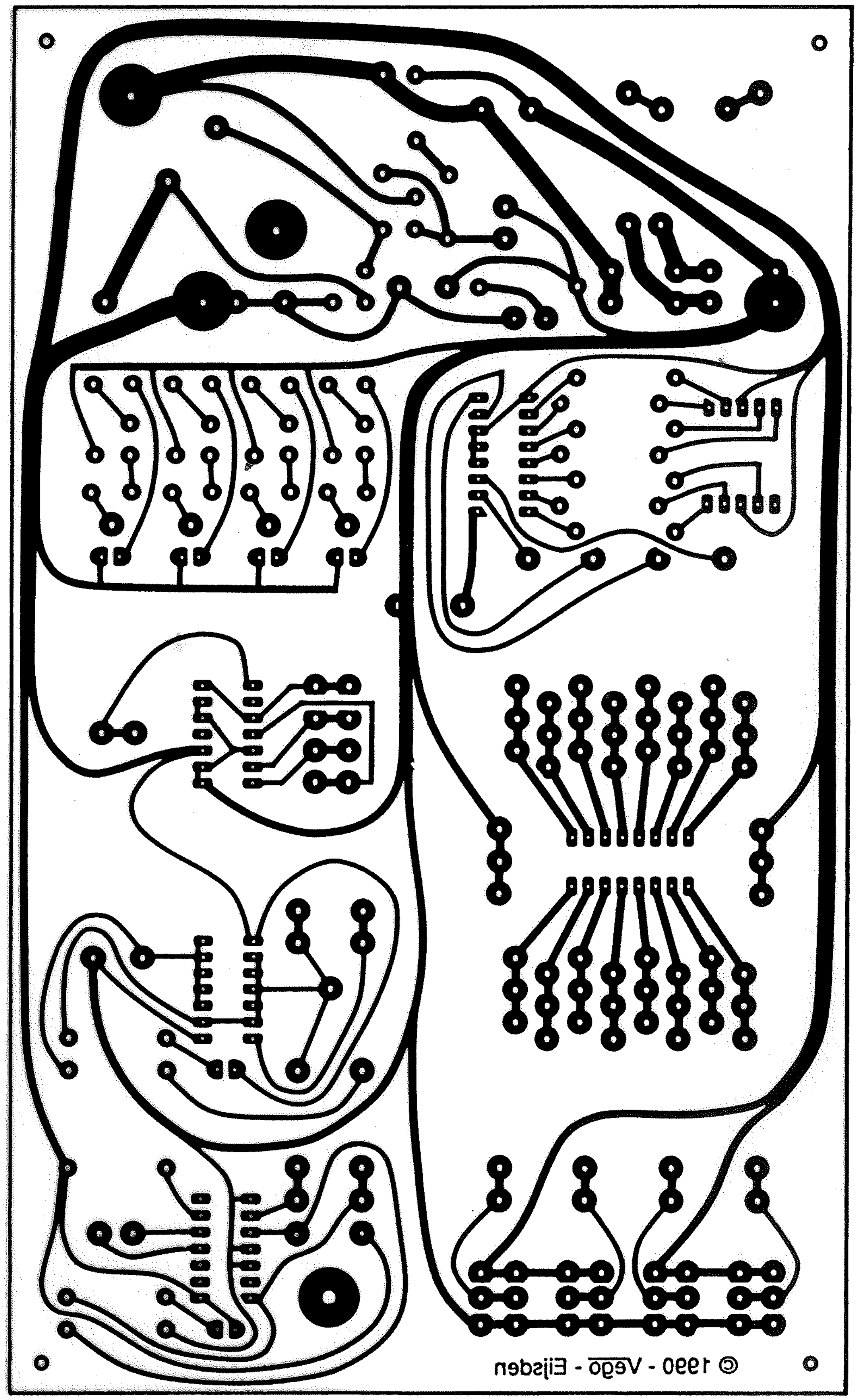
Een experiment
Aan de hand van een voorbeeld wordt beschreven hoe men in de praktijk met de TTL-experimentator moet werken. Dat eerste experiment test de werking van de "BCD-encoder" en de "BCD-decoder". In totaal moeten daarvoor negen verbindingen worden gemaakt. Deze zijn voorgesteld in figuur 4/7.21-15.

Verbindt:
- G - I;
- J - R;
- K - S;
- L - T;
- M - U.
- J - N;
- K - O;
- L - P;
- M - Q.

Het zeven segment display moet nu alle cijfers van 0 tot en met 9 doorlopen telkens als men op de drukknop van de "one shot generator" duwt. Bovendien moet de door de "BCD-encoder" opgewekte binaire code aangegeven worden op de vier LED's van de "output indicator".

7.21 Universele TTL-experimentator

7.21 Universele TTL-experimentator



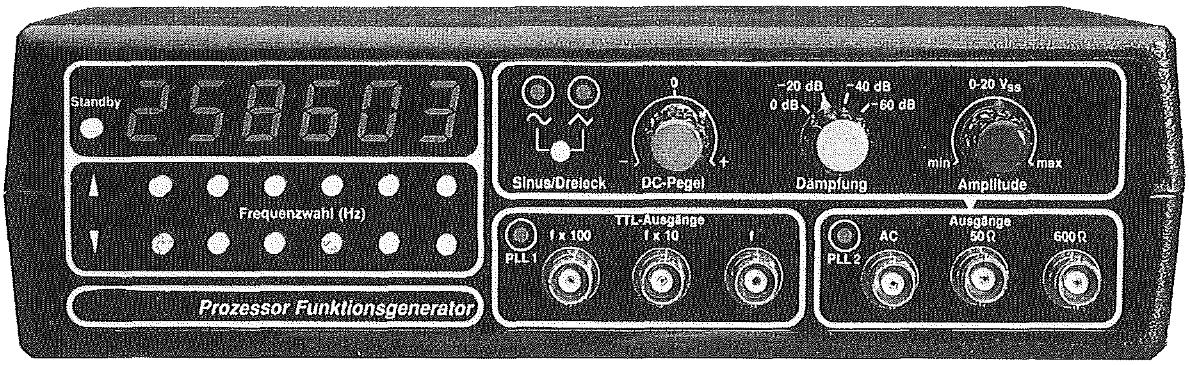
Figuur 4/7.21-12: De print van de schakeling.

4/7.22
Semi-professionele functiegenerator

Specificaties
De in dit hoofdstuk beschreven functiegenerator verdient met recht en reden het predikaat "semi-professioneel".
Een overzicht van de belangrijkste specificaties:
- frequentiebereik voor analoge sinus en driehoek van 10 Hz tot 262 kHz;
- frequentiebereik van digitale TTL-compatibele pulsuitgang van 10 Hz tot 26,2 MHz(!);
- frequentie wordt door middel van moderne PLL-technieken afgeleid van een interne zeer stabiele kristaloscillator;
- twee afzonderlijke PLL-schakelingen voor de TTL- en de analoge uitgangen;
- de insteltijd van de PLL's, typisch 1 s en maximaal 5 s, wordt aangegeven door middel van twee LED's;
- frequentie afleesbaar op een 6-digit display met een resolutie van 1 Hz tot 131 kHz en met een resolutie van 2 Hz tot 262 kHz;
- frequentie instelbaar op 1 Hz nauwkeurig met twaalf drukknoppen;
- sinus/driehoek omschakeling door middel van een drukknop met twee indicatie-LED's;
- drie analoge uitgangen met een uitgangsimpedantie van respectievelijk 50 Ω, 600 Ω en AC-gekoppeld;
- drie TTL-compatibele uitgangen met frequenties van 1x, 10x en 100x de op het display ingestelde waarde;
- uitgangsspanning voor sinus en driehoek instelbaar tot 20 $V_{top\text{-}tot\text{-}top}$ door middel van potentiometer;
- extra geijkte stappenverzwakker voor sinus en driehoek met standen van 0, -20, -40 en -60 dB;
- sinus en driehoek kunnen worden gesuperponeerd op een gelijkspanning van -5 V tot +5 V, onafhankelijk van de stappenverzwakker;
- uitgangsstroom van de analoge uitgangen bedraagt maximaal 200 mA, kortsluitvast;
- uitgangsstroom van de TTL-uitgangen is maximaal 40 mA, deze uitgangen zijn echter **niet** kortsluitvast;
- vervorming op de sinus gemiddeld 0,5 % bij 1 kHz en 20 $V_{top\text{-}tot\text{-}top}$;
- frequentie-onnauwkeurigheid maximaal 0,05 Hz bij 1 kHz;
- volledige microprocessor-besturing met "koude start", waarbij de processor na het inschakelen van de netspanning de generator automatisch instelt op 1 kHz sinus;
- "stand-by"-schakelaar, waarmee het apparaat in een rust-modus gaat en de laatst ingestelde gegevens in een geheugen bewaard worden.

Het uiterlijk en de bediening
In figuur 4/7.22-1 wordt een impressie gegeven van de frontplaat van de functiegenerator.

7.22 Semi-professionele functiegenerator



Figuur 4/7.22-1: De frontplaat van de functiegenerator.

Links boven staat het display, waar de ingestelde frequentie met zes digits wordt aangegeven. Voor het basisbereik kan men de frequentie tot 1 Hz nauwkeurig instellen. Naast de display's staat nog een drukknopje en een LED'je, waarmee men het apparaat in de "stand-by" mode kan zetten. Het LED'je gaat branden als het apparaat wél met het net is verbonden maar zich in de "stand-by" mode bevindt. Onder het display staan in totaal twaalf drukknopjes, waarmee men de frequentie kan instellen. Ieder digit wordt ingesteld met behulp van twee drukknopjes, waarmee men de cijfers kan laten op- en aftellen. Als men een van de drukknoppen langer dan een seconde ingedrukt houdt, wordt een automatische "repeat"-functie ingesteld, waarbij het digit met vijf stappen per seconde op- of aftelt. Daarbij springt het eerstvolgende hogere digit automatisch verder (of terug) als het bediende digit door de nul gaat. Op deze manier kan men iedere gewenste frequentie zeer snel instellen. De processor zorgt er bovendien voor dat niet functionele nullen onderdrukt worden.

Rechts boven is het blokje ondergebracht, waarmee men de analoge uitgangen kan bedienen. Met behulp van een drukknopje en twee LED's kan men de uitgang instellen op sinus of op driehoek. Daarnaast staat een potentiometer waarmee men het gelijkspanningsniveau op het signaal kan instellen.

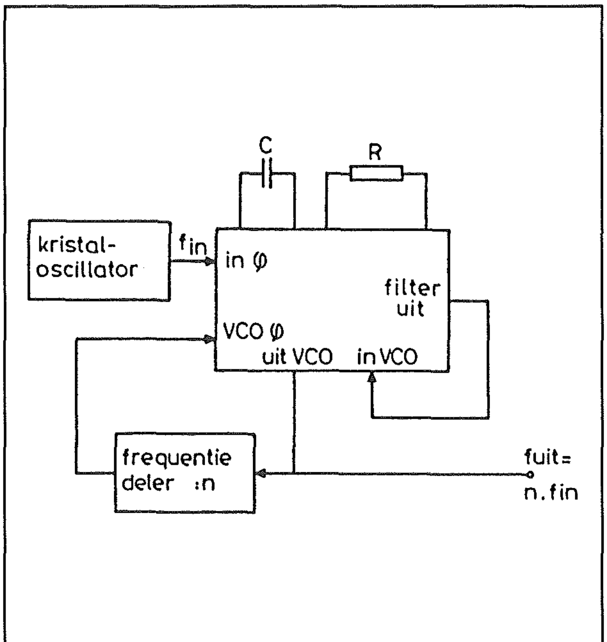
Staat deze potentiometer in de middenstand, dan is dat niveau nul en verloopt het uitgangssignaal symmetrisch ten opzichte van de nul. Nadien volgt een vier standen schakelaar, waarmee men de amplitude van het uitgangssignaal in vier standen kan verzwakken met ieder 20 dB. Tot slot staat, helemaal rechts, de potentiometer waarmee men de amplitude fijn kan regelen.

De twee onderste blokken leveren de uitgangssignalen. In het midden staan drie BNC-connectoren, waarvan men de TTL-compatibele uitgangssignalen kan aftakken. Zoals reeds gemeld leveren deze uitgangen signalen af met frequenties die gelijk zijn aan 1x, 10x en 100x de op het display ingestelde frequentie. Een LED'je "PPL-1" geeft aan of de PLL van deze schakeling wel of niet gelocked is. Dat wil zeggen dat de uitgangsfrequentie zich heel nauwkeurig gekoppeld heeft aan de referentiefrequentie en dat de generator

voldoet aan de gestelde specificaties van de nauwkeurigheid van de frequentie.
Helemaal rechts staan de drie BNC-connectoren van de analoge uitgangen. Deze leveren de sinus of de driehoek met impedanties van 50 Ω of 600 Ω, terwijl ook een uitgang "AC" ter beschikking staat waarmee men het apparaat zonder gevaren kan aansluiten op punten die op een gelijkspanning staan. Ook hier geeft een LED "PPL-2" aan of de analoge generator is gelocked op de ingestelde frequentie.

Het principe van de PLL-regeling

In deze generator wordt gebruik gemaakt van twee "Phase Locked Loop" regelsystemen voor het instellen van de frequentie. Het basisprincipe van een PLL is geschetst in figuur 4/7.22-2.



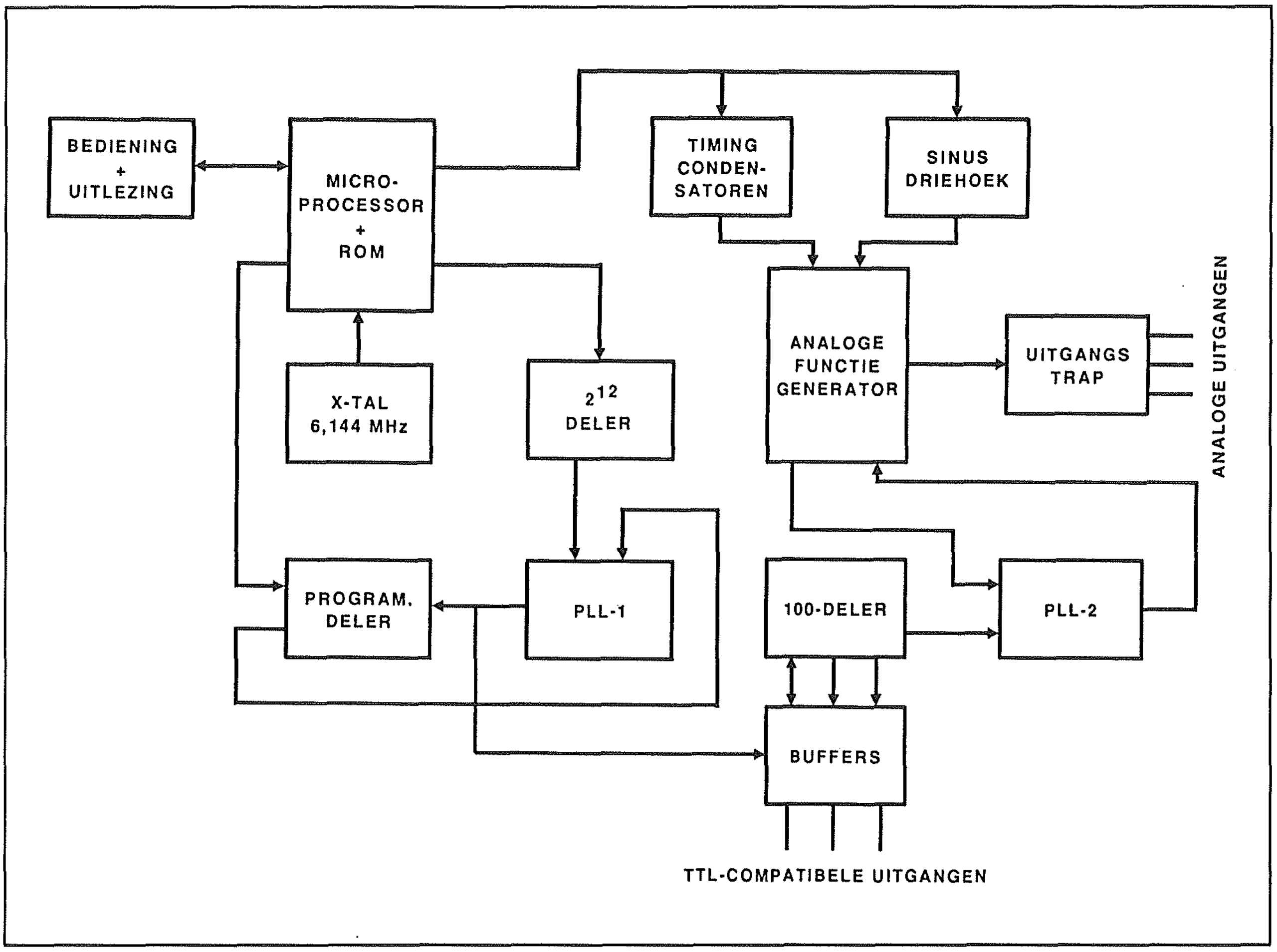
Figuur 4/7.22-2: Het basisprincipe van een PLL.

De schakeling vergelijkt een signaal met een vaste referentiefrequentie f_{in} met de frequentie die geleverd wordt door een in de PLL ingebouwde spanningsgestuurde oscillator VCO. Het uitgangssignaal van de VCO wordt eerst aangeboden aan een instelbare frequentiedeler. De PLL wekt een stuursignaal voor de VCO op als de uitgangsfrequentie van de deler niet gelijk is aan de referentiefrequentie f_{in}. Dit stuursignaal zal de frequentie van de VCO zo regelen totdat aan de frequentiegelijkheid voldaan is. De schakeling wekt dus een signaal op met een frequentie die bepaald wordt door de referentiefrequentie f_{in} en door de deelfactor van de frequentiedeler. Als de referentiefrequentie gelijk is aan 1 MHz en de deelfactor is 3, dan zal de uitgangsfrequentie van de schakeling gelijk zijn aan 3 MHz.
Als men de deelfactor van de frequentiedeler stuurt met een microprocessor is het mogelijk willekeurige deelfactoren in te stellen. Op deze manier kan men, volledig digitaal, een signaal genereren met een nauwkeurig numeriek instelbare frequentie. De frequentie-nauwkeurigheid van het uitgangssignaal is alleen afhankelijk van de nauwkeurigheid van f_{in}.
Een PLL bestaat op de eerste plaats uit een frequentie- en fase-comparator, die een pulsvormige uitgangsspanning aflevert. De duty-cycle van deze pulsen is afhankelijk van de frequentie- en faseverhouding tussen de beide ingangssignalen. Om hier een mooi stuursignaal uit te brouwen voor de VCO is het noodzakelijk deze pulstrein door een laagdoorlaatfilter te sturen. Dit laagdoorlaatfilter is de tweede belangrijke schakeling van iedere PLL!

Het blokschema

Het blokschema van de functiegenerator is getekend in figuur 4/7.22-3.
Hart van de schakeling is het blokje "microprocessor". Deze bevat een ROM-geheugen, waarin de besturingscode voor de generator is ondergebracht.

7.22 Semi-professionele functiegenerator



Figuur 4/7.22-3: Het volledige blokschema van de functiegenerator.

De processor wordt gestuurd met een kristal van 6,144 MHz. De processor zélf bevat de kristaloscillator en een eerste delertrap die de kristalfrequentie door 15 deelt. Wat blijft is een basisfrequentie van 409. 600 Hz, die door een 2^{12}-deler wordt gereduceerd tot 100 Hz.
Dit signaal vormt de referentiefrequentie van de generator en alle uitgangsfrequenties worden hiervan afgeleid. Dit 100 Hz signaal wordt aan een van de ingangen van de PLL-1 gelegd. De frequentie van dit signaal wordt vergeleken met de door n gedeelde frequentie van de in de PLL aanwezige VCO. Deze programmeerbare deler wordt gestuurd uit de microprocessor. Het stelsel "PLL + programmeerbare frequentiedeler" vormt een in zichzelf teruggekoppeld systeem. De uitgangsfrequentie van de VCO is dus gelijk aan de referentie-frequentie van 100 Hz, vermenigvuldigd met de deelfactor van de programmeerbare frequentiedeler. Omdat er in de delerketen een vaste 100-deler is ingebouwd, zal de uitgangsfrequentie van de VCO echter steeds 100 keer hoger zijn dan deze die door de microprocessor op het display wordt weergegeven.

De microprocessor communiceert met het bedienings- en display-blok via een tiental lijnen. De processor tast via deze lijnen alle drukknoppen af en stelt vast welke op een bepaald moment wordt be-

diend. De microcode in het ROM zorgt ervoor dat de noodzakelijke acties door de processor worden uitgevoerd.

Het uitgangssignaal van de eerste PLL gaat naar een 100-deler. De ingang en de 1/10 en de 1/100 uitgangen van deze deler gaan via digitale buffers naar de drie TTL-compatibele uitgangen van het apparaat. Op deze drie uitgangen kan men dus signalen aftakken met frequenties die gelijk zijn aan 1x, 10x en 100x de ingestelde waarde.

Het 1/100 signaal, waarvan de frequentie dus gelijk is aan deze die door het display wordt aangegeven, wordt als basis gebruikt voor het analoge deel van het apparaat. Hart van deze schakeling is een analoge functiegenerator. De uitgangsfrequentie van deze schakeling wordt in de tweede PLL vergeleken met het :100 signaal. De frequentie-comparator van de PLL stuurt de frequentiebepalende ingang van de analoge functiegenerator. Deze schakeling, de bekende XR 2206, kan zowel driehoeken als sinussen genereren. Maar daar komt heel wat schakelwerk bij te pas! Dit wordt uitgevoerd door een aantal elektronische schakelaars die gestuurd worden uit de microprocessor. Ook het omschakelen van de frequentiebepalende condensatoren wordt rechtstreeks door de processor geregeld.

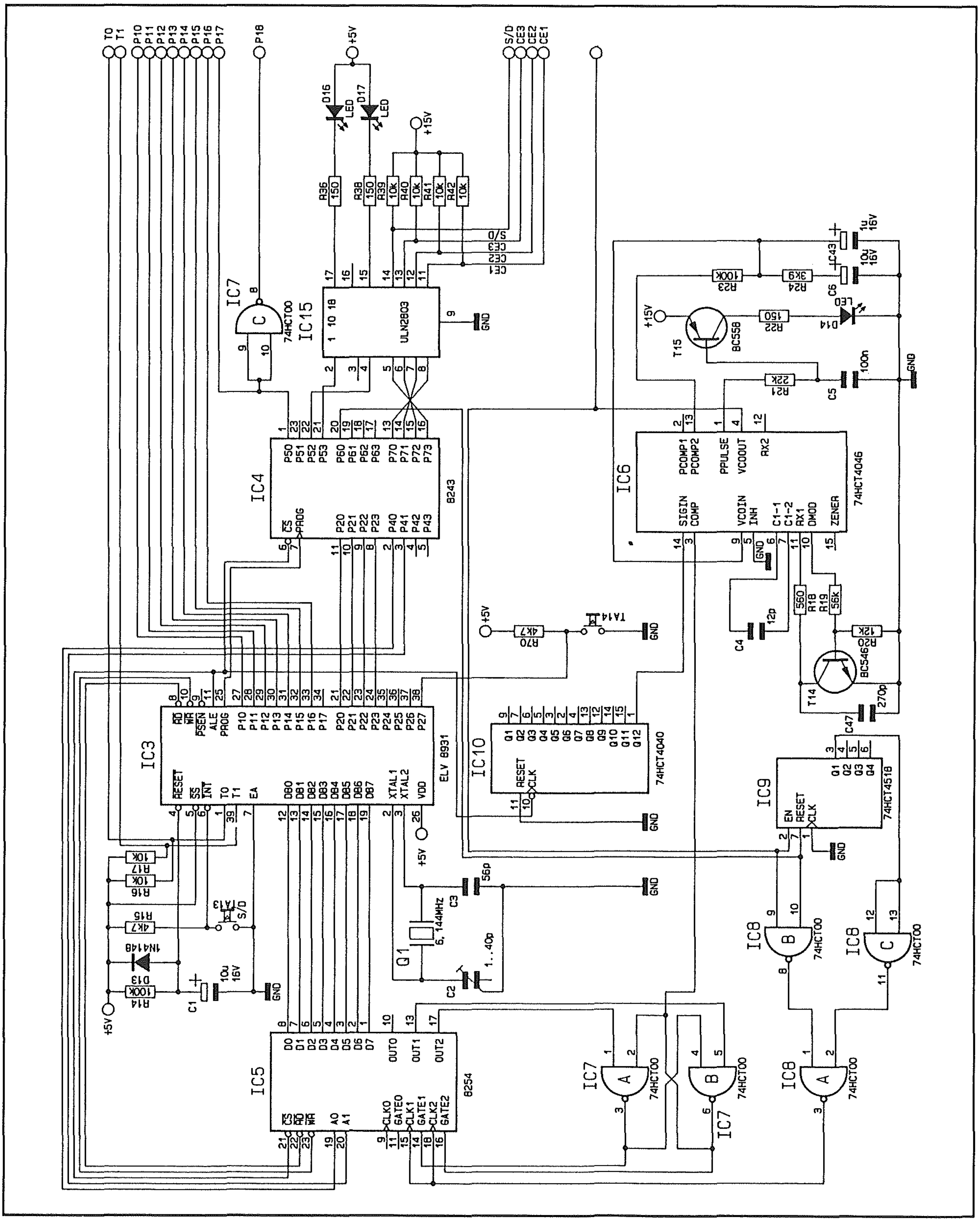
De uitgang van de analoge functiegenerator stuurt de uitgangstrap, die uit een stappenverzwakker, een offset-instelling en een complementaire eindtrap bestaat.

De microprocessor besturing
Het praktische schema van de microprocessor besturing is getekend in figuur 4/7.22-4.

De processor is een speciale schakeling met ingebouwd ROM-geheugen. In dit geheugen is de microcode voor de besturing van de functiegenerator vast ingebakken.
Men zou in principe natuurlijk ook een standaard processor kunnen toepassen en de code opslaan in een EPROM. De gekozen benadering heeft een nadeel en een voordeel. Het nadeel is dat men dit ene IC in ieder geval bij of via de Nederlandse importeur Binell van de ontwerper van de generator (ELV-lab) moet bestellen. Het grote voordeel is echter dat de nabouwer niet geplaagd wordt met de noodzaak tot het schrijven van de microcode in een EPROM, iets waar niet iedere elektronicus toe in staat is!

De speciale processor IC3 heeft als typenummer ELV 8931. Deze schakeling bestuurt de drukknopbediening van het apparaat, de programmeerbare frequentiedeler en bevat bovendien de referentiegenerator.
Deze laatste schakeling wordt gestuurd uit het kristal Q1. Dit heeft een basisfrequentie van 6,144 MHz. Deze frequentie wordt echter in de processor zélf door 15 gedeeld, zodat de systeemfrequentie gelijk is aan 409.600 Hz. Dit signaal staat ter beschikking op de ALE-uitgang (pen 11) van de processor. Dit signaal wordt in de frequentiedeler IC10 nog eens door 2^{12} gedeeld, zodat op de uitgang Q12 (pen 1) van dit IC een signaal met een frequentie van 100 Hz ter beschikking staat. Dit signaal stuurt de eerste PLL-kring.
De PLL is opgebouwd rond IC6, een speciaal voor dit doel ontworpen IC, met als specialiteit dat de ingebouwde VCO een zeer groot bereik heeft. Het referentiesignaal f_{in} met een frequentie van 100 Hz wordt aangeboden aan pen 14.

7.22 Semi-professionele functiegenerator



Figuur 4/7.22-4: Het praktische schema van de microprocessor besturing.

7.22 Semi-professionele functiegenerator

De uitgang van de frequentie-comparator (pen 13) wordt eerst via de weerstand R23 door het laagdoorlaatfilter R24/C6/C43 gestuurd en gaat dan naar de stuuringang pen 9 van de VCO. De uitgangsspanning van de VCO staat ter beschikking op pen 4. Op pen 1 staat een signaal ter beschikking dat aangeeft of de VCO is gelocked op de frequentie. Dit signaal wordt via de transistor T15 gebruikt voor het sturen van de lock-LED D14.

Het uitgangssignaal van de VCO gaat naar het digitale netwerk rond de IC's IC7, IC8, IC9, IC4 en IC5. Deze schakeling bepaalt de deelfactor van de frequentiedeler, die tussen de uitgang van de VCO en de tweede ingang van de frequentie-comparator van de PLL is geschakeld. Uiteraard wordt deze schakeling bediend door de microprocessor.
De werking kan in het kort als volgt worden samengevat. Als de processor aan de P60 ingang van IC4 een "H" legt, dan staat op de uitgang van de NAND-poort uit IC8 (pen 3) de oscillatorfrequentie van de VCO uit de PLL. Een "L" op deze ingang heeft tot gevolg dat de VCO-frequentie door IC9 door twee gedeeld wordt. Dit signaal gaat via pen 3 van IC8 verder naar de CLCK1 en CLCK2 ingangen van IC5. Dit IC bevat drie zelfstandige programmeerbare 16-bit tellers, waarvan er twee als 1/n-deler geschakeld zijn. De flip-flop die door IC7 gevormd wordt, stuurt de GATE-ingangen 14 en 16 van IC5 op een dusdanige manier, dat steeds maar één van de delers geactiveerd is. De via het toetsenbord ingestelde frequentie wordt door de processor aangeboden aan de D-ingangen van de programmeerbare tellers. Op deze manier wordt een programmeerbare deler opgebouwd met een instelbare deelfactor van 10 tot 131.071. Als de ingestelde frequentie groter is dan 131.071 Hz zal de processor een "L" naar de ingang P60 van IC4 sturen. Zoals reeds opgemerkt wordt daardoor de tweedeler in IC9 ingeschakeld, zodat aan pen 3 van IC8 de halve VCO-frequentie ligt. De VCO in de PLL moet nu dus op een twee maal hogere frequentie gaan oscilleren om aan de frequentie-gelijkheid te voldoen. Op deze manier kan het frequentiebereik verhoogd worden tot 262.142 Hz, maar het zal nu wel duidelijk zijn waarom de nauwkeurigheid van de instelling nu slechts 2 Hz bedraagt!
De uitgang van de flip-flop IC7 stuurt de tweede ingang van de frequentie-comparator (pen 3 van IC6), waarmee de PLL-lus gesloten is en de schakeling kan werken.
Het zal duidelijk zijn dat door de 1/100 deling in het terugkoppelpad de VCO op een 100 keer hogere frequentie oscilleert dan deze die met het toetsenbord is ingesteld. Stelt men dus bijvoorbeeld een frequentie in van 1,00000 kHz, dan zal de VCO in IC6 oscilleren op 100,000 kHz. Dat is ook noodzakelijk, want dank zij dit feit kan men de TTL-uitgangen een frequentiebereik geven dat 100 keer hoger ligt dan dat van de analoge uitgangen van het apparaat!

De LED D14 licht op als er geen fase- en frequentie-gelijkheid bestaat tussen de twee ingangen van de PLL. Dat gebeurt als men de generator op een andere frequentie instelt. Omdat de instelling door middel van drukknoppen gebeurt kan men de frequentie met één druk op één knop vrij drastisch wijzigen. De schakeling doet er dan een paar seconden over om een nieuw evenwicht in te stellen. De LED gaat dan enige seconden branden. Want zodra de LED dooft is men er zeker van

dat de schakeling de nieuwe geprogrammeerde waarde van de frequentie weer heeft ingesteld.

Tot slot nog een opmerking over de aansturing van de VCO in de PLL van IC6. Het zal duidelijk zijn dat aan de aansturing van deze schakeling zeer hoge eisen worden gesteld! De schakeling moet immers in staat zijn een frequentiebereik van 10 tot 131.071 met één timingcondensator te genereren! Vandaar dat de VCO wordt gestuurd door een externe hulpschakeling rond de transistor T14. Deze transistor bepaalt, samen met de weerstand R18, de stuurstroom voor de VCO. De transistor wordt via de weerstanden R19 en R20 gestuurd uit de D_{MOD} uitgang van de PLL. Dank zij deze externe stroombesturing kan men de VCO over een zo groot bereik aansturen!

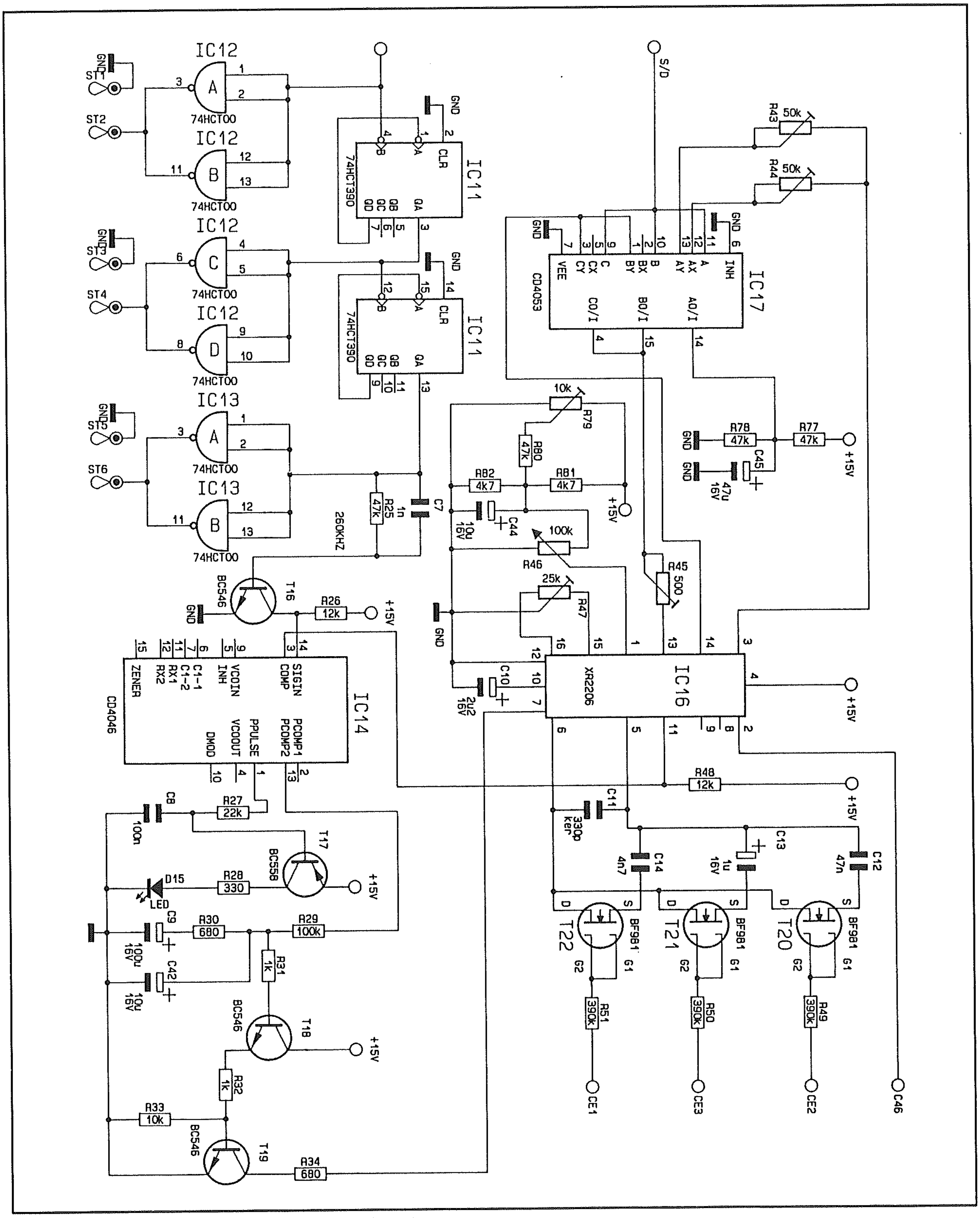
De microprocessor levert een aantal signalen dat gebruikt wordt voor het instellen van de eigenlijke analoge functiegenerator. Deze P-signalen worden gebufferd in IC15, schakeling die ook de twee LED's aanstuurt die besluiten of de generator ingesteld staat op sinus of op driehoek.
Het P27-signaal van de processor wordt gebruikt voor het detecteren van de toestand van de "stand-by"-schakelaar TA14. Wordt deze schakelaar even ingedrukt, dan stuurt de microprocessor via zijn P17-lijn het relais in de voeding.

Het schema van de functiegenerator
Het praktische schema van de functiegenerator is getekend in figuur 4/7.22-5.

Links onder in beeld, aan de ingang voorzien van een cirkeltje, komt het uitgangssignaal van de VCO van de eerste PLL binnen. Dit signaal stuurt twee tiendelers uit IC11. Het signaal zélf en de door 10 en 100 gedeelde signalen gaan via de buffers in IC12 en IC13 naar de drie TTL-compatibele uitgangen van de functiegenerator. Om de stroomcapaciteit te vergroten zijn steeds twee buffers parallel geschakeld.
Het door 100 gedeelde signaal (waarvan de frequentie dus precies gelijk is aan deze die op de frontplaat werd ingesteld) stuurt via de transistor T16 de tweede PLL. Deze is uitgevoerd met een normale CD4046, hetgeen kan omdat aan deze schakeling veel kleinere eisen worden gesteld. De enige functie van IC14 is immers slechts de frequentie van de functiegenerator XR 2206 (IC16) gelijk te maken aan de frequentie van het signaal dat via de transistor T16 wordt toegevoerd. Er wordt hier dus geen programmeerbare deler ingeschakeld en de VCO in de PLL wordt zelfs niet eens gebruikt! Alleen de fase- en frequentie-comparator speelt een rol.
De transistor T16 is noodzakelijk om het TTL-signaal om te zetten in een signaal met een amplitude van 15 V. Dat is immers de voedingsspanning van het analoge deel van het apparaat.
De XR 2206 levert zijn rechthoekvormige uitgangssignaal op pen 11. Dit signaal gaat rechtstreeks naar de tweede ingang (pen 3) van de fase- en frequentie-comparator uit IC14.
Het uitgangssignaal van deze comparator gaat weer eerst door het onmisbare laagdoorlaatfilter (R30/C9/C42) en stuurt dan via de twee transistoren T18 en T19 de stroomingang van de XR 2206 op pen 7.

De XR 2206 is echter niet in staat het volledige bereik van het apparaat met één timingcondensator te genereren.

7.22 Semi-professionele functiegenerator



Figuur 4/7.22-5: Het schema van de functiegenerator.

7.22 Semi-professionele functiegenerator

Vandaar dat er drie MOSFET-transistoren T20 tot en met T22 worden gebruikt om volledig elektronisch de timing-condensatoren om te schakelen. Deze drie transistoren worden uiteraard gestuurd vanuit de microprocessor met de signalen CE1 tot en met CE3.

Ook deze tweede PLL is voorzien van een LED (D15) die gaat branden als de PLL niet in lock staat. Maar ook nu zal dat nooit langer dan enige seconden duren!

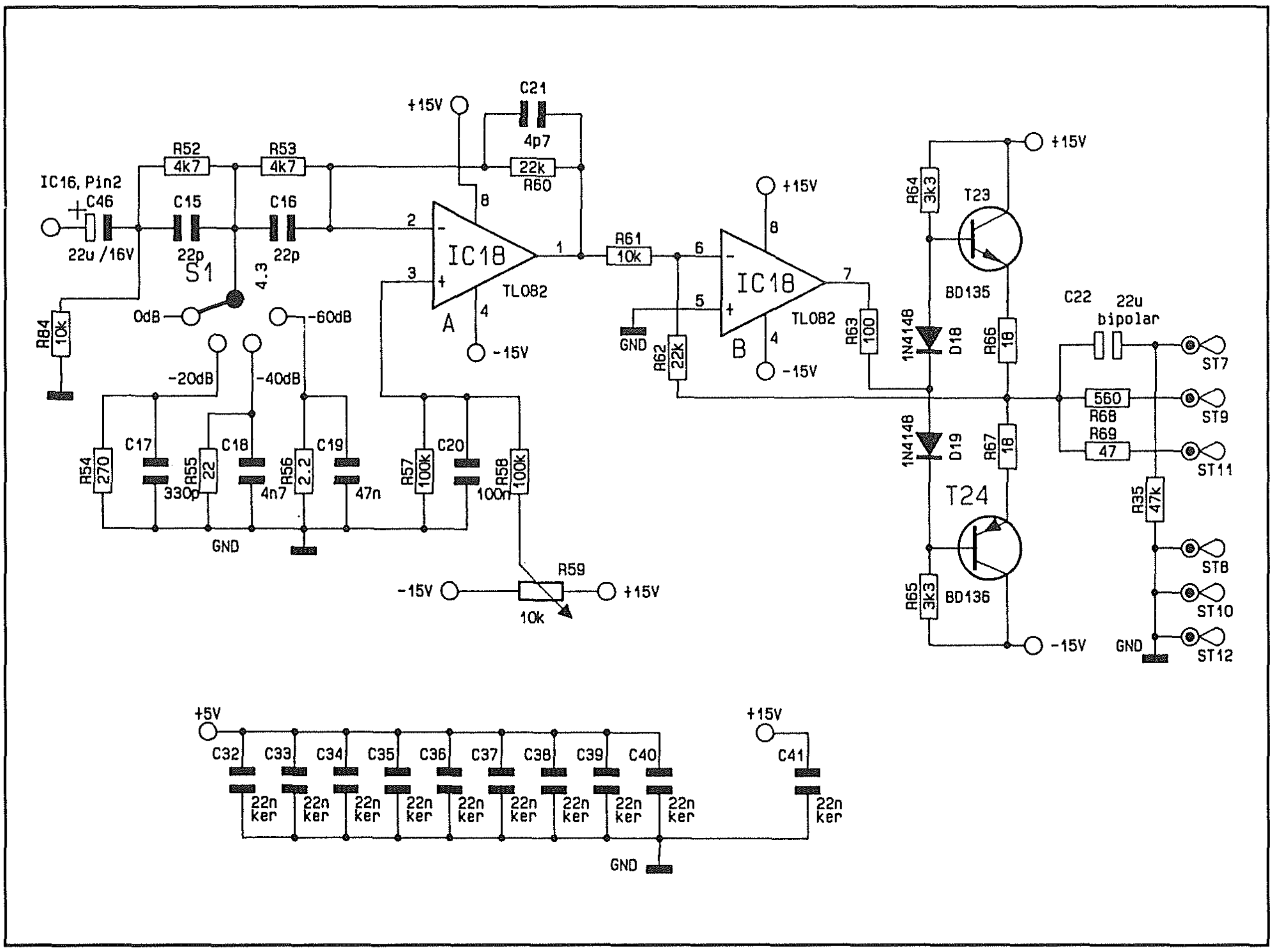
De XR 2206 is een prachtige schakeling voor het ontwerpen van functiegeneratoren, maar heeft als groot nadeel dat het omschakelen van sinus naar driehoek niet zo eenvoudig gaat. Maar ook dit wordt hier volledig elektronisch opgelost en wel door middel van drie elektronische schakelaars in IC 17.
De eerste schakelaar schakelt de instelpotentiometer R45 tussen de pennen 13 en 14 van IC16. Op deze manier moet bij de XR 2206 omgeschakeld worden tussen driehoek en sinus. De instelpotentiometer moet afgeregeld worden op minimale vervorming op de sinus. Maar omdat de omschakeling van driehoek naar sinus in feite neerkomt op het aftoppen van de driehoek, zal de sinus, zonder speciale maatregelen, een kleinere top-tot-top waarde hebben dan de driehoek. Om dat probleem op te lossen wordt de top-tot-top waarde van de uitgangsspanning voor driehoek en sinus afzonderlijk ingesteld door middel van de twee overige elektronische schakelaars in IC17. Deze leggen of R43 of R44 aan de ingang 3 van de XR 2206 en op deze manier kan men de topwaarden van beide signaalvormen precies aan elkaar gelijk maken.
Uiteraard wordt ook IC17 gestuurd uit de microprocessor en wel via het S/D-signaal. Zoals bekend heeft de XR 2206 nogal wat afregelorganen. Zo moet men ook de tijdsymmetrie van het uitgangssignaal instellen. Dat gebeurt in deze schakeling via de instelpotentiometer R47. Met R46, een potentiometer die op de frontplaat staat, kan men de amplitude van het uitgangssignaal instellen. Deze regeling gaat echter samen met deze rond R79, waarmee men de uitgangsspanning op minimaal kan afregelen bij volledig open gedraaide R46.

De uitgangsversterker
De XR 2206 levert dan wel mooie sinussen en driehoeken af, maar is niet in staat om veel stroom te leveren. Vandaar dat een uitgangsversterker noodzakelijk is. Het praktische schema van deze schakeling is getekend in figuur 4/7.22-6.

Het uitgangssignaal van de XR 2206 op pen 2 gaat eerst naar een gecompenseerde passieve dB-verzwakker. De compensatie-condensatoren over de verzwakkerweerstanden zijn noodzakelijk om de dB-verzwakking over het volledige frequentiebereik te handhaven.

Nadien volgt de offset-instelling rond IC18. Het (verzwakte) uitgangssignaal van de XR 2206 wordt hier gemengd met een gelijkspanning, die via de potentiometer R59 en de daarmee samenhangende componenten instelbaar is tussen -5 V en +5 V. Deze instelling wordt uitgevoerd door de niet-inverterende ingang van de op-amp op een gelijkspanningsniveau te zetten in plaats van op het massa-potentiaal. In principe dus niets anders dan een externe offsetcompensatie met een groot regelbereik! Op deze manier kan men zelfs signalen van maar enige mV superponeren op een gelijkspanning van meerdere V!

7.22 Semi-professionele functiegenerator

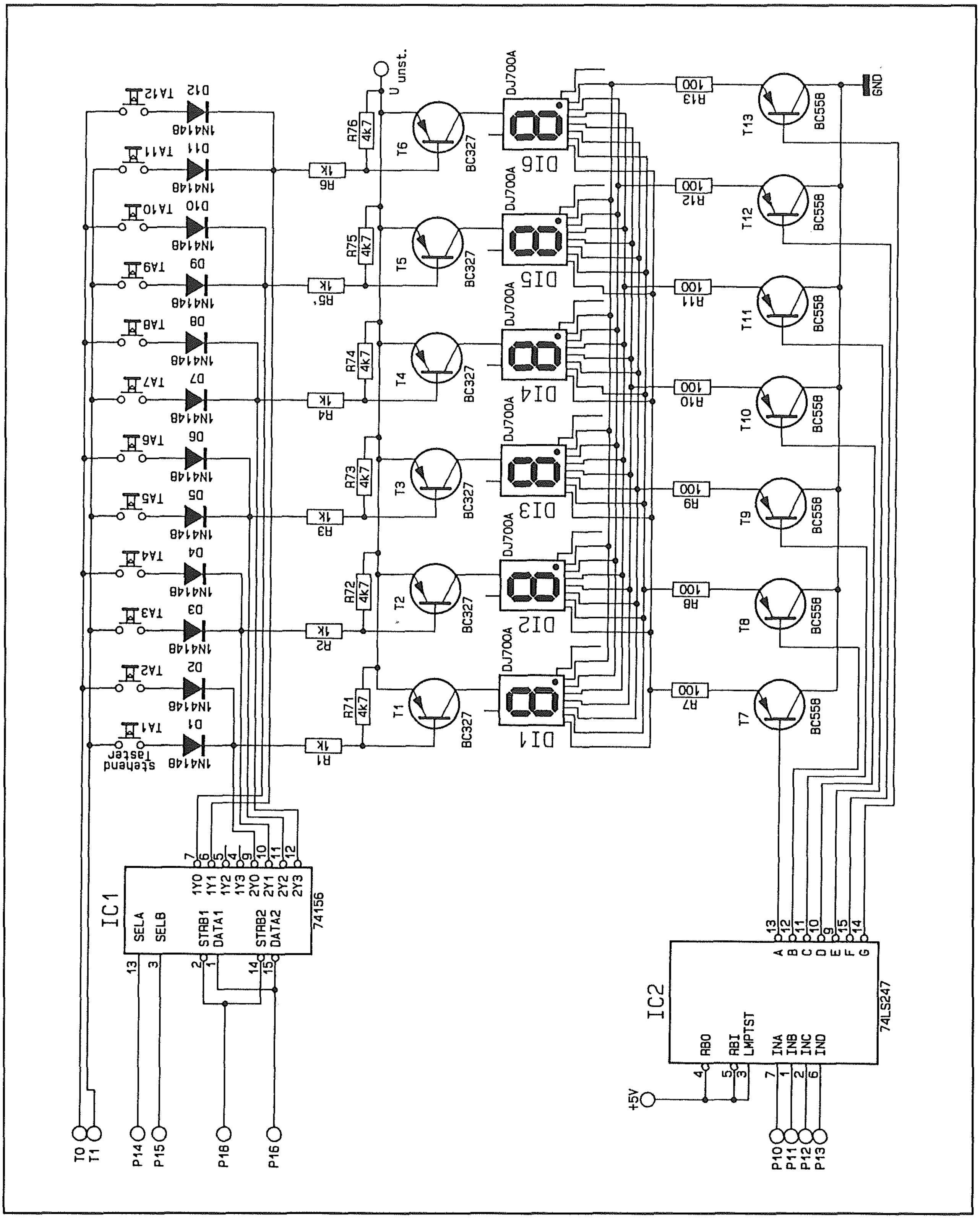


Figuur 4/7.22-6: Het schema van de uitgangsversterker.

Tot slot volgt nog een complementaire eindtrap, waarvan de tweede op-amp uit IC18 de stuurtrap vormt.
De spanningsversterking van deze trap wordt ingesteld door de weerstanden R61 en R62. Deze laatste koppelt rechtstreeks terug van de uitgang van de complementaire eindtrap. De dioden D18 en D19 verzorgen de ruststroominstelling van de twee eindtransistoren, zodat de schakeling weinig last heeft van cross-over vervorming.
De uitgangsimpedantie van de complementaire eindtrap is zeer laag. Vandaar dat de uitgang wordt afgesloten met twee netwerkjes, die de generator de in de laboratoriumwereld gebruikelijke uitgangsimpedanties geven van 50 Ω en 600 Ω. Daarnaast is nog een wisselspanningsgekoppelde uitgang aanwezig via C22 en R35. ***Deze uitgang moet gebruikt worden als men de generator aansluit op een punt waarop een gelijkspanning staat.*** Een zeer belangrijke opmerking! Als men namelijk een van de uitgangen "50 Ω" of "600 Ω" aansluit op een punt waarop een hoge gelijkspanning staat kan de generator beschadigd worden!

De in dit schema getekende condensatoren C32 tot en met C41 zijn ontkoppelcondensatoren, die op diverse plaatsen van de print tussen de massa en de voedingsspanningen zijn geschakeld.

7.22 Semi-professionele functiegenerator



Figuur 4/7.22-7: Het schema van de bediening en de uitlezing.

7.22 Semi-professionele functiegenerator

Het bedienings- en uitleesblok

De meeste functies van deze functiegenerator worden ingesteld met behulp van drukknopjes. Dat kan natuurlijk, omdat de microprocessor deze drukknopjes kan afvragen. Het schema van deze drukknopbediening en van de frequentie-uitlezing is getekend in figuur 4/7.22-7.

De drukknoppen worden afgevraagd volgens het multiplex-principe. Op dezelfde manier worden ook de zes display's aangestuurd. De volledige schakeling wordt gestuurd uit tien lijnen van de microprocessor.

De IC's 1 en 2 zetten de signalen van de P-lijnen van de microprocessor om in de multiplex-signalen.

De schakeling werkt als volgt. IC1 is een drie naar zes decoder. Afhankelijk van de digitale code op de P-ingangen zal één van de zes uitgangen naar de massa schakelen. Het gevolg is dat een van de transistoren T1 tot en met T6 in geleiding wordt geschakeld. Deze transistoren zijn verbonden met de voedingsspanning en met de common anode aansluiting van de display's. Het display dat met de geleidende transistor verbonden is kan dus aangestuurd worden.

IC2 is een identieke schakeling die aan de hand van de code op de P-ingangen vast stelt welke segmenten van het geselecteerde display aangestuurd moeten worden. De weerstanden R7 tot en met R13 verzorgen de stroombegrenzing voor de LED's in de display's. Dit gehele proces gaat zo snel dat het lijkt alsof alle display's gelijktijdig branden.

De drukknoppen worden alleen door IC1 afgevraagd. Van zodra de signalen op de P-lijnen stabiel zijn, zal de microprocessor de status van zijn T0- en T1-lijnen afvragen. Als alle schakelaars open zijn staan deze lijnen op "H". Daarvoor zorgen de weerstanden R16 en R17 uit het schema van figuur 4/7.22-4. Als echter op een van de drukknoppen wordt gedrukt zal of T0 of T1 naar "L" gaan. De microprocessor kan door het afvragen van deze lijnen en door de status van zijn P-lijnen zonder enig misverstand te weten komen op welke toets er gedrukt wordt. De in de ROM van de processor aanwezige microcode zet het drukken van een toets om in de betreffende actie.

De voeding

Het praktische schema van de voeding is getekend in figuur 4/7.22-8.

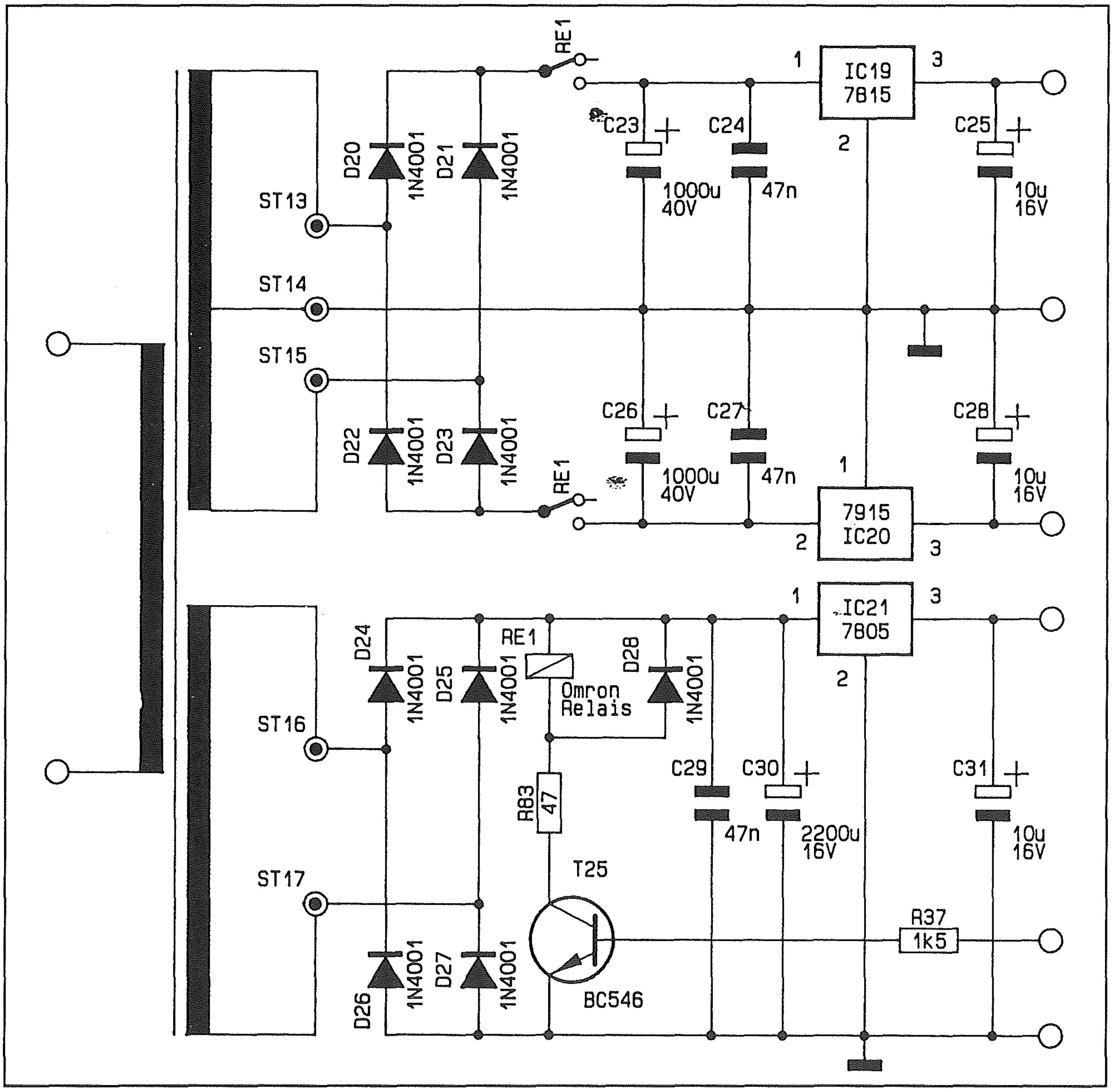
Uitgegaan wordt van een 14 VA trafo met twee afzonderlijke secundaire wikkelingen. De bovenste levert 2 x 15 V bij 0,3 A, de onderste 1 x 8 V bij 0,5 A.

Uit de twee 15 V wikkelingen worden op de overbekende manier twee gestabiliseerde spanningen van +/-15 V afgeleid. Het enige vreemde in deze schakeling is de aanwezigheid van de twee relaiscontacten RE1. Deze worden bediend door de "stand-by"-schakelaar en schakelen de voedingsspanningen voor het analoge deel van de schakeling in- of uit.

Het onderste deel van de schakeling verzorgt de +5 V voor de digitale IC's. Het relais staat over de gelijkgerichte spanning en wordt via de transistor T25 gestuurd uit P17 van de processor.

Als het apparaat in de "stand-by"-mode wordt geschakeld, wordt het stroomverbruik tot het minimum gereduceerd. De voeding voor de analoge IC's valt weg via de relaiscontacten. Maar de besturingscode in de microprocessor zorgt er bovendien voor dat ook de sturing voor de display's verdwijnt.

7.22 Semi-professionele functiegenerator



Figuur 4/7.22-8: Het schema van de voeding.

Het enige onderdeel dat dan stroom opneemt is in feite de processor zélf. Het voordeel van deze oplossing is dat alle instellingen van het apparaat bewaard blijven in het geheugen van de processor en dat men door het eenmalig indrukken van de "stand-by"-knop weer in de werkstand terecht komt waar men bij de vorige meetsessie gebleven was.

Onderdelenlijst

Opmerkingen:

- *Ra-Rd wil zeggen Ra, Rb, Rc én Rd;*
- * *wil zeggen dat deze waarde ten opzichte van de in het schema aangegeven waarde veranderd is, men moet de waarde in de onderdelenlijst gebruiken.*

7.22 Semi-professionele functiegenerator

Weerstanden, 1/8 W:

R56	=	2,2	Ω
R66,R67	=	18	Ω
R55	=	22	Ω
R69,R83	=	47	Ω
R7-R13,R63	=	100	Ω
R22,R36,R38	=	150	Ω
R54	=	270	Ω
R28	=	330	Ω
R34*	=	470	Ω
R18,R68	=	560	Ω
R30	=	680	Ω
R1-R6,R31,R32	=	1	kΩ
R37	=	1,5	kΩ
R64,R65	=	3,3	kΩ
R24	=	3,9	kΩ
R15,R52,R53	=	4,7	kΩ
R70-R76,R81	=	4,7	kΩ
R82	=	4,7	kΩ
R16,R17,R33	=	10	kΩ
R39-R42,R6	=	10	kΩ
R84	=	10	kΩ
R20,R26,R48	=	12	kΩ
R21,R27,R60	=	22	kΩ
R62	=	22	kΩ
R25,R35	=	47	kΩ
R77,R78,R80	=	47	kΩ
R19	=	56	kΩ
R14,R23	=	100	kΩ
R29,R57,R58	=	100	kΩ
R49,R50,R51	=	390	kΩ

Potentiometers:

R45	=	500	Ω	PT10
R79	=	10	kΩ	PT10
R47	=	25	kΩ	PT10
R43,R44	=	50	kΩ	PT10
R59	=	10	kΩ	pot lin
R46	=	100	kΩ	pot lin

Condensatoren:

C21	=	4,7	pF	ceramisch
C4	=	12	pF	ceramisch
C15,C16	=	22	pF	ceramisch
C3	=	56	pF	ceramisch
C47	=	270	pF	ceramisch
C11,C17	=	330	pF	ceramisch
C7	=	1	nF	MKH
C14,C18	=	4,7	nF	MKH
C32-C41	=	22	nF	ceramisch
C12,C19	=	47	nF	MKH
C24,C27,C29	=	47	nF	MKH
C5,C8,C20	=	100	nF	MKH
C13,C43	=	1	µF	16 V elco
C10	=	2,2	µF	16 V elco
C1,C6,C25	=	10	µF	16 V elco
C28,C31,C42	=	10	µF	16 V elco
C44	=	10	µF	16 V elco
C46	=	22	µF	16 V elco
C22	=	22	µF	bipolair
C45	=	47	µF	16 V elco
C9	=	100	µF	16 V elco
C23,C26	=	1000	µF	40 V elco
C30	=	2200	µF	16 V elco
C2	=	1-40	pF	trimmer

Halfgeleiders:

D20-D28	=	1N4001
D1-D13,D18	=	1N4148
D19	=	1N4148
Di1-Di6	=	DJ700A
D14-D17	=	LED 3 mm rood
T23	=	BD135
T24	=	BD136
T20-T22	=	BF981
T1-T6	=	BC327
T14,T16,T18	=	BC546
T19,T25	=	BC546
T7-T13,T15,T17	=	BC558
IC3	=	ELV8931
IC4	=	82C43
IC5	=	82C54
IC15	=	ULN2803
IC16	=	XR2206
IC14	=	CD4046
IC17	=	CD4053
IC7,IC8,IC12*	=	74HC00
IC13*	=	74HC00

IC10*	=	74CD4040
IC6	=	74HCT4046
IC9*	=	74HC4518
IC11*	=	74HC390
IC1	=	74156
IC2	=	74LS247
IC18	=	TL082
IC21	=	7805
IC19	=	7815
IC20	=	7915

Diversen:

Q1	=	6,144 MHz kristal
TA1-TA14	=	printdrukknop
S1	=	3x4 printschakelaar
RE1	=	3,6 V Omron relais
Tr1	=	trafo, 2x15 V, 1x8 V

De bouw van de schakeling

Voor deze semi-professionele functiegenerator zijn twee printen ontworpen, waarop alle onderdelen worden ondergebracht. Nadeel voor de echte nabouwer is dat deze printen dubbelzijdig zijn en doorgemetaliseerd. Maar daar staat het grote voordeel tegenover dat er geen enkele draadbrug moet worden aangebracht. Bovendien zijn de printen leverbaar bij de importeur van het ELV-ontwerp.

Ondanks dat wordt toch, voor de rasechte nabouwer die zich door geen enkel probleem laat tegenhouden, in de figuren 4/7.22-9 tot en met 12 op de transparante printpagina's, de lay-out gegeven van respectievelijk:

- de soldeerzijde van de basisprint;
- de componentenzijde van de basisprint;
- de soldeerzijde van de bedieningsprint;
- de componentenzijde van de bedieningsprint.

In de figuren 4/7.22-13 en -14 zijn de componentenopstellingen van respectievelijk de basis- en de uitleesprint getekend. Let op! Deze figuren zijn tot 80% verkleind!

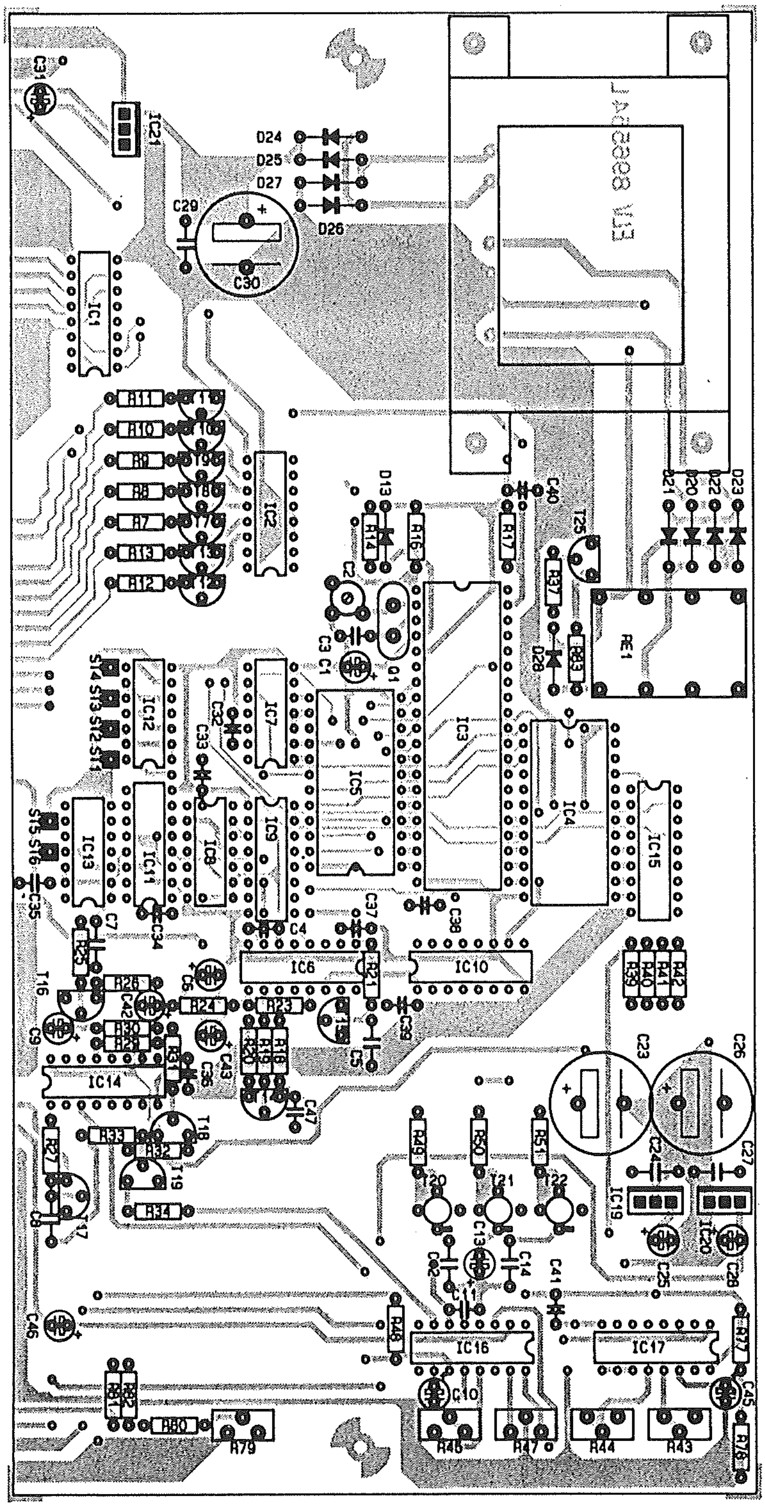
In het bouwpakket, dat van deze schakeling leverbaar is, wordt een speciale printtrafo gebruikt. De netaansluiting is namelijk in de trafo-behuizing ingegoten, zodat het absoluut onmogelijk is dat men op de een of andere ongelukkige manier met de netspanning in aanraking komt. Wie de schakeling zélf wil nabouwen, zal dat deel van het printontwerp dus moeten aanpassen. De leverbare printen zijn volledig doorgemetaliseerd, zodat het niet noodzakelijk is de onderdelen aan beide zijden vast te solderen. Wie de printen zélf maakt, zal uiteraard wel aan weerszijden moeten solderen. Denk er dan ook aan dat in alle gaatjes, waar geen onderdelen in thuis horen, kleine draadjes of "hole-pins" aangebracht moeten worden die aan weerszijden vast gesoldeerd worden. Deze solderingen moeten bovendien als eerste gemaakt worden, omdat sommige onder de IC's verborgen zitten.

Aan de hand van de componentenopstellingen kan men alle onderdelen op de twee printen monteren. De meest voor de hand liggende volgorde is:

- dioden;
- weerstanden;
- IC's;
- condensatoren;
- display's;
- schakelaars;
- potentiometers.

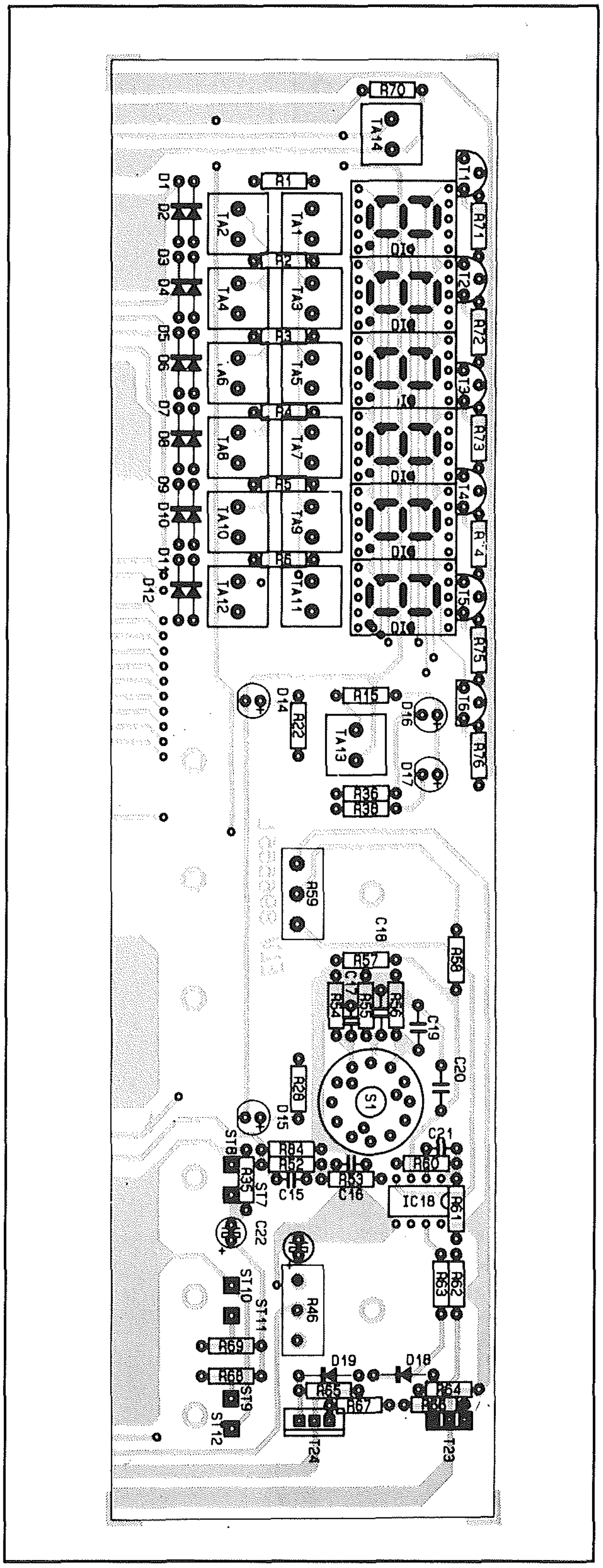
De twee potentiometers R59 en R46 worden op de soldeerzijde van de uitleesprint gemonteerd, de assen steken door de twee grote gaten en de onderdelen worden met de moeren op de componentenzijde op de print geschroefd.

7.22 Semi-professionele functiegenerator



Figuur 4/7.22-13: De componentenopstelling van de basisprint.

7.22 Semi-professionele functiegenerator



Figuur 4/7.22-14: De componentenopstelling van de uitleesprint.

Nadien kan men de zes aansluitlipjes met kleine draadjes op de soldeerzijde vast solderen. Denk er echter eerst aan dat de assen van de potentiometers tot 20 mm ingekort moeten worden, gemeten van de oppervlak van de print tot het puntje van de as.

Nadat beide printen volledig gemonteerd zijn worden deze aan elkaar bevestigd. Een zeer precies werkje, waar men de nodige tijd voor moet reserveren! De uitleesprint moet namelijk loodrecht tegen de rand van de basisprint gesoldeerd worden. Daarbij moet de rand van de uitleesprint precies 1,5 mm uitsteken. Als men de twee printen op deze manier tegen elkaar houdt zal men vaststellen dat 31 kopersporen op beide printen precies samen vallen. Het is nu de bedoeling dat deze kopersporen tegen elkaar gesoldeerd worden. Men doet er verstandig aan eerst de twee grote koperen vlakken links en rechts met weinig tin aan elkaar te solderen. Nadien buigt men beide printen precies onder een hoek van 90 graden. Nu kan men de printencombinatie voorzichtig op de werktafel leggen en de overige kopersporen tegen elkaar solderen. Ter versteviging van deze constructie kan men vervolgens het geheel omdraaien en ook op de componentenzijde van de basisprint de zes grote koperen vlakken aan elkaar solderen.

Nadien kan men het frontplaatje onder handen nemen. Daarop worden zes BNC-connectoren vast geschroefd, waarbij onder de moer een soldeerlip aangebracht wordt. Aan deze soldeerlipjes worden 35 mm lange soepele draadjes gesoldeerd. De centrale pennen worden voorzien van 30 mm lange draadjes. De frontplaat wordt provisorisch op de uitleesprint

gelegd en het geheel wordt in de onderste helft van de behuizing gemonteerd. De zes BNC-connectoren vallen nu precies door de grote gaten in de uitleesprint.
Vervolgens kan men de zes draadjes van de connectoren op de volgende manier vast solderen op de basisprint:

- de massa-aansluiting van de meest linkse TTL-connector wordt verbonden met aansluitpunt ST1;
- de massa-aansluiting van de volgende TTL-connector met ST3;
- de massa-aansluiting van de rechter TTL-connector met ST5;
- de centrale pennen van deze drie TTL-connectoren worden respectievelijk verbonden met ST2, ST4 en ST6;
- de massa-aansluitingen van de drie analoge uitgangen worden, van links naar rechts, verbonden met ST8, ST10 en ST12;
- de centrale pennen van de analoge connectoren gaan respectievelijk van links naar rechts naar ST7, ST9 en ST11.

Hiermee is de montage van de functiegenerator afgesloten en kan men het apparaat gaan testen en afregelen.

Testen en afregelen

Allereerst wordt een aantal gelijkspanningen gecontroleerd. Men verbindt de negatieve pool van een digitale universeelmeter met de massa, bijvoorbeeld de metalen lip van de spanningsstabilisator IC19. Vervolgens verbindt men het apparaat met de netspanning.
Volgende gelijkspanningen moeten gemeten worden:

- pen 1 van IC19: +20 à +27 V;
- pen 3 van IC19: +14,4 à +15,6 V;
- pen 2 van IC20: -20 à -27 V;
- pen 3 van IC20: -14,4 à -15,6 V.
- pen 1 van IC21: +9 à +13 V;
- pen 3 van IC21: +4,75 à +5,25 V.

Als al deze spanningen goed zijn is de voeding van het apparaat glansrijk door de test gekomen!
Vervolgens meet men nog de spanningen op de buffer van de uitgangsversterker:

- pen 8 van IC18: +14,4 à +15,6 V;
- pen 4 van IC18: -14,4 à -15,6 V;
- pen 3 van IC18: instelbaar tussen +7,5 V tot -7,5 V met de potentiometer R59.

Nu kan men de generator gaan afregelen. Daarvoor heeft men in ieder geval een digitale universeelmeter nodig. Handig, maar niet echt noodzakelijk zijn een oscilloscoop, een digitale frequentiemeter en een vervormingsmeter.

- Stel R59 zo in, dat de analoge uitgangen "50 Ω" en "600 Ω" vrij zijn van gelijkspanning. Dit kan men bijvoorbeeld nauwkeurig meten door de universeelmeter aan te sluiten op pen 3 van IC18. De gelijkspanning op deze pen bedraagt dan precies 0 V. Deze instelling moet gehandhaafd blijven voor de rest van de afregeling!
- Zet de universeelmeter op wisselspanning en sluit het apparaat aan op de analoge uitgang "AC". Heeft men een oscilloscoop ter beschikking, dan wordt deze op de "50 Ω" uitgang gezet. Zet de verzwakker schakelaar in de stand "0 dB" en de amplitude potentiometer in de maximale stand. Zet de functie op sinus met de drukknop. Zet de uitgangsfrequentie op 1 kHz.
- Regel de instelpotentiometer R43 af op een effectieve uitgangsspanning van 7,07 V, hetgeen overeen komt met een top-tot-top waarde van 20 V.
- Regel vervolgens instelpotentiometer R45 af op minimale vervorming op de

sinus. Dat kan aan de hand van het prentje op de oscilloscoop. Heeft men echter een vervormingsmeter, dan kan men natuurlijk deze afregeling zeer nauwkeurig uitvoeren. Het zal echter nog niet mogelijk zijn de minimale vervorming van ongeveer 0,5% in te stellen!

- Regel de instelpotentiometer R47 af op maximale symmetrie van het uitgangssignaal. Wie geen vervormingsmeter heeft zal dat op het oog aan de hand van het schermbeeld moeten doen. Wie wél met een distortie-meter werkt kan nu op minimale vervorming afregelen.
- Wie afregelt met een vervormingsmeter moet de twee vorige stappen herhalen. Door het nauwkeurig afregelen van R45 en R47 kan men vaak de vervorming tot minder dan 0,3% minimaliseren! Maar dan moet men deze twee stappen minstens vijf maal herhalen!
- Zet de amplitude potentiometer R46 in de laagste stand en regel de instelpotentiometer R79 af op minimaal signaal op de uitgang.
- Zet R46 weer in de maximale stand en regel de instelpotentiometer R43 weer af op 20 V top-tot-top op de uitgang.
- Herhaal deze twee stappen enige malen.
- Zet de analoge uitgangsspanning op driehoek en regel de instelpotentiometer R44 af op een uitgangssignaal van 20 V top-tot-top. Let wel dat men hiervoor absoluut een oscilloscoop moet gebruiken, omdat de meeste goedkope digitale universeelmeters geen juiste effectieve waarde aangeven als het signaal niet zuiver sinusvormig is!
- Wie de beschikking heeft over een nauwkeurige digitale frequentiemeter kan dit apparaat op een van de digitale uitgangen aansluiten. De frequentie wordt met de drukknoppen ingesteld op 200,000 kHz. De condensator trimmer C2 wordt nu afgeregeld tot het apparaat een frequentie van precies 200,000 kHz genereert. Deze afregeling heeft echter alleen zin als de frequentiemeter echt geijkt is!

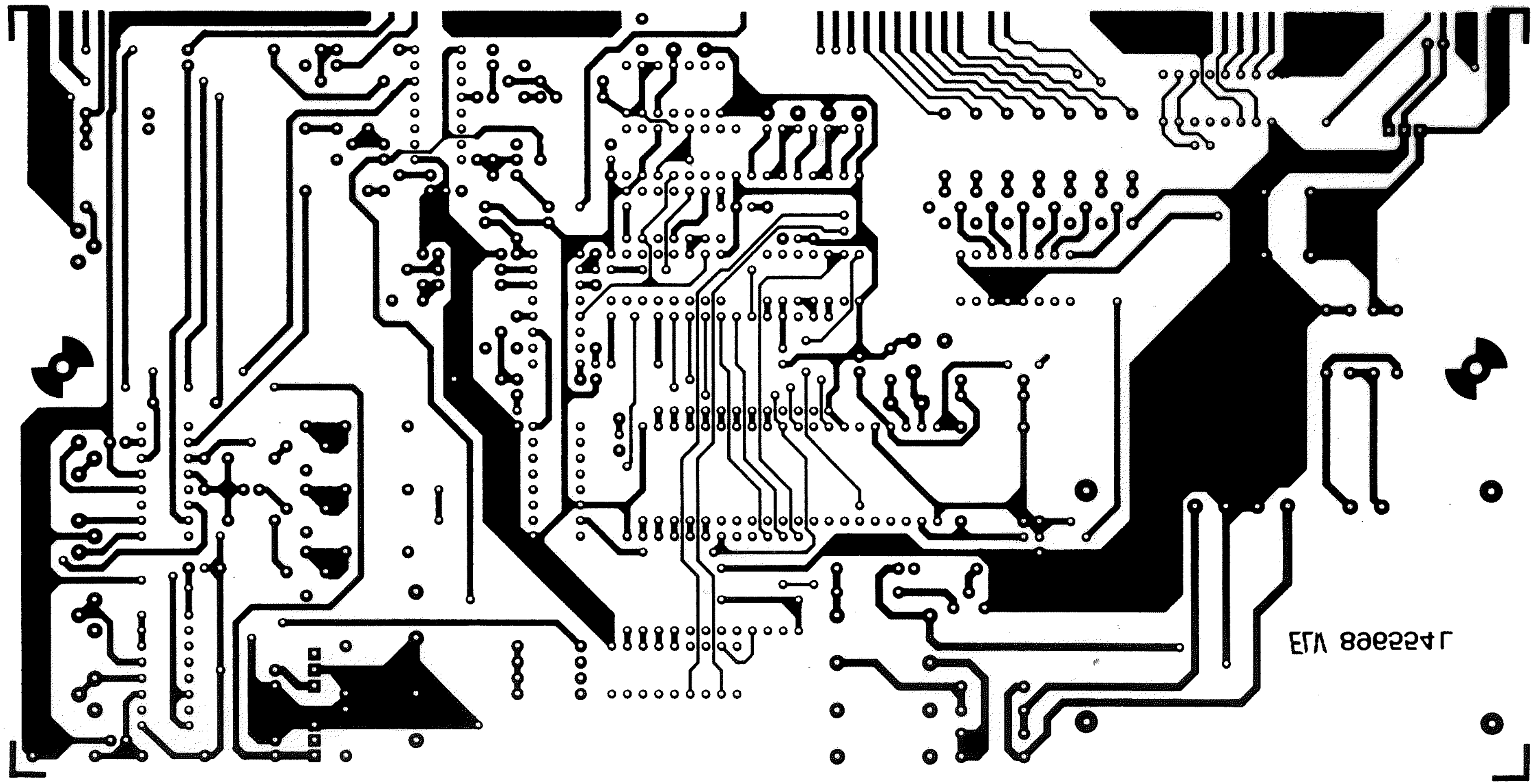
De eindmontage

Wie gebruik maakt van de bouwpakket service kan nu de behuizing in elkaar schroeven en deze functiegenerator aan het meetinstrumentarium toevoegen. Wie houdt van zelfwerkzaamheid zal nu zélf aan de slag moeten en een mooi kastje in elkaar timmeren.

Bouwpakket informatie

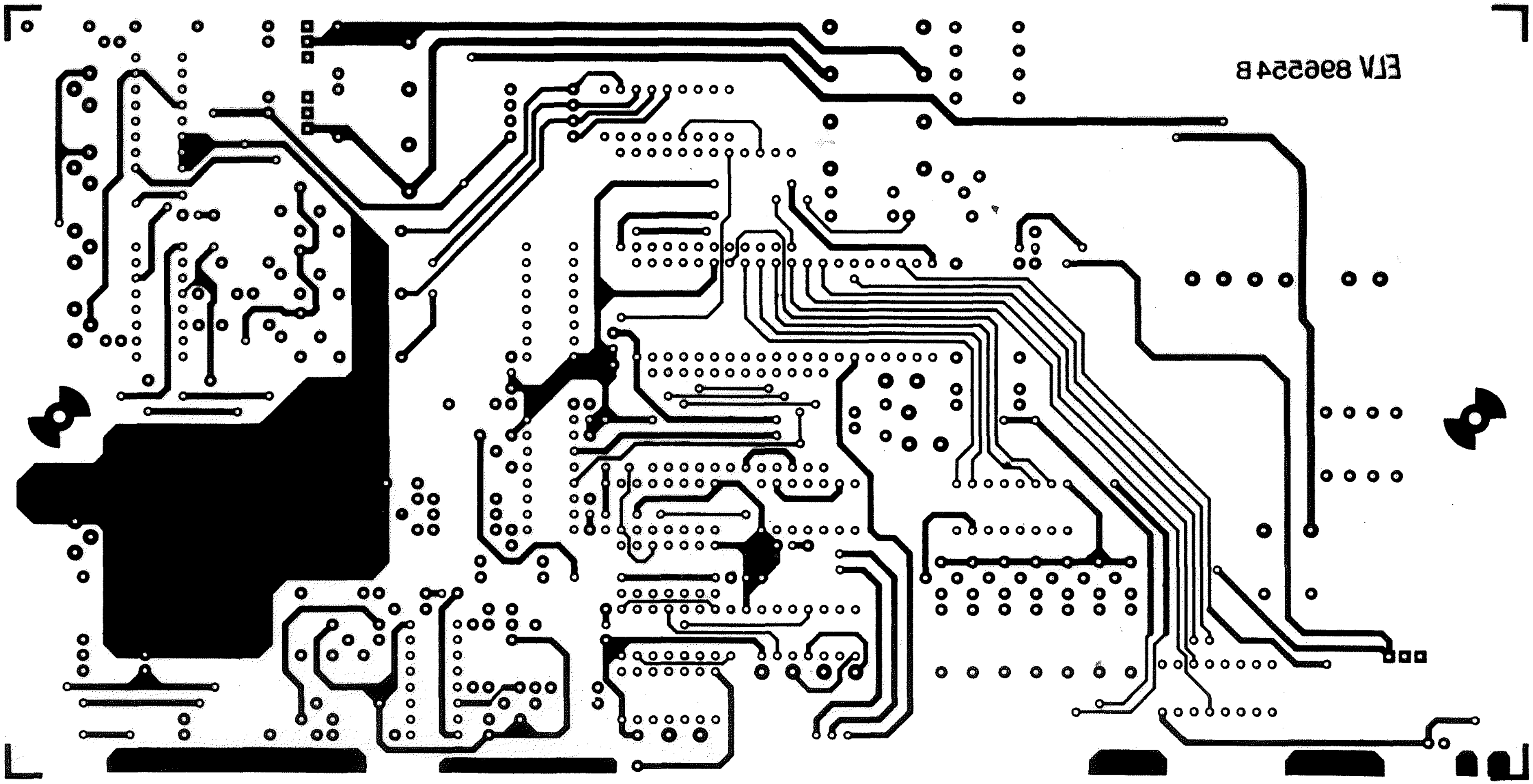
Als extra service aan de nabouwers van deze schakeling kan nog vermeld worden dat deze semi-professionele functiegenerator in diverse onderdelenzaken leverbaar is als compleet bouwpakket. De samenstelling van dit bouwpakket, inclusief twee doorgemetaliseerde printen en de behuizing, wordt verzorgd door de firma Binell B.V., Postbus 83, 7440 AB Nijverdal. Het bouwpakket wordt geleverd onder de bestelcode FG 7001. Op het genoemde adres kan men alle nodige informatie krijgen over prijzen en verkoopadressen.

7.22 Semi-professionele functiegenerator



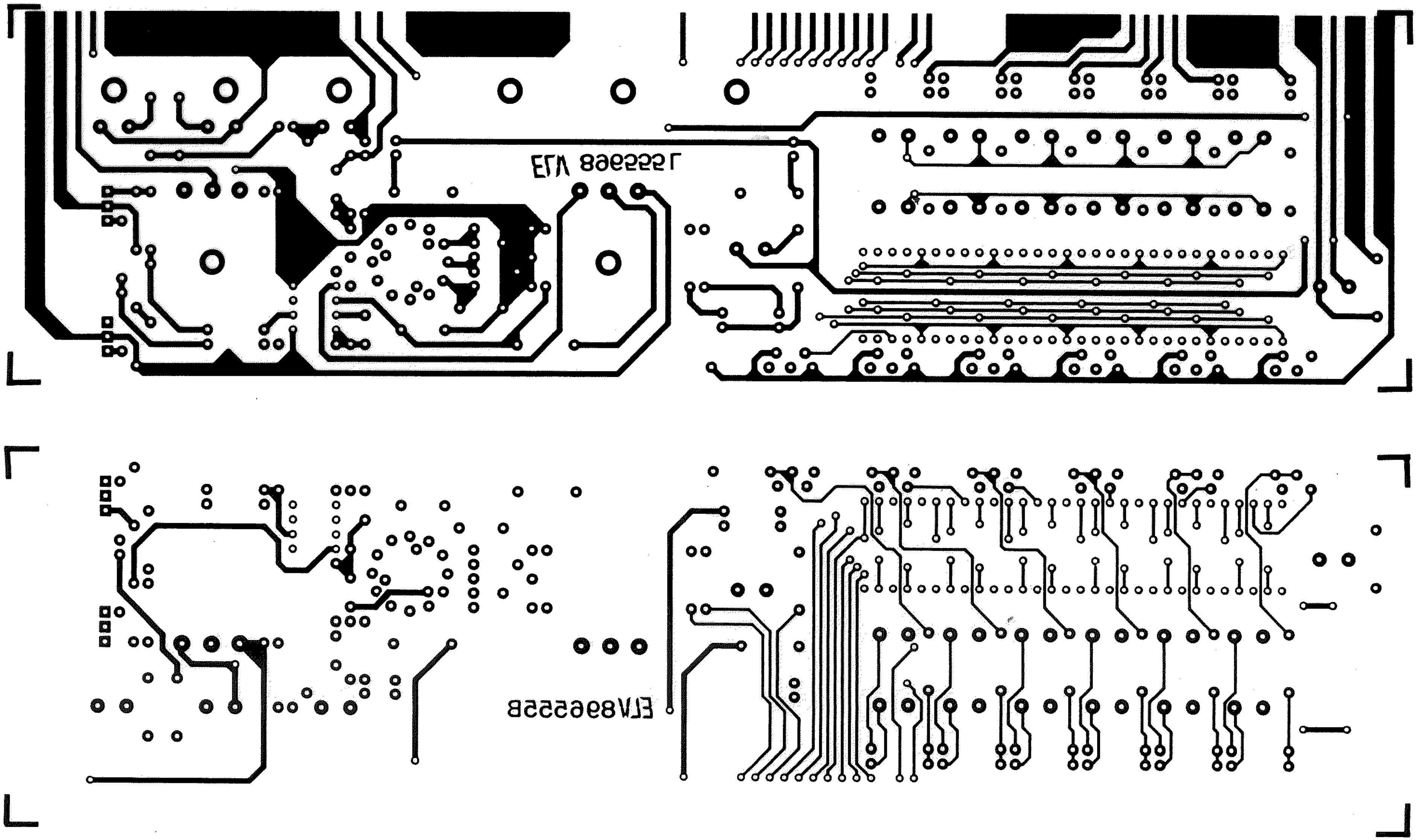
Figuur 4/7.22-9: De soldeerzijde van de basisprint.

7.22 Semi-professionele functiegenerator



Figuur 4/7.22-10: De componentenzijde van de basisprint.

7.22 Semi-professionele functiegenerator



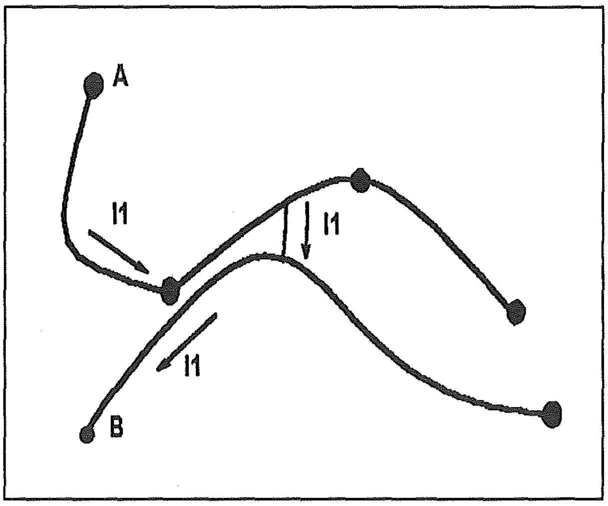
Figuren 4/7.22-11 en -12: De lay-out van de uitleesprint.

4/7.23

Stroomsonde voor foutzoeken in digitale schakelingen

Inleiding
Een bekend scenario voor iedereen die zélf digitale schakelingen in elkaar zet. Alle onderdelen zitten netjes op de print, de voeding wordt ingeschakeld, het systeem doet niets. De scoop erbij gehaald, op een bepaald printspoortje waar een bepaald signaal zou moeten verschijnen is niets te meten. Vervangen van het IC dat het signaal genereert levert niets op. Vervanging van alle IC's die het signaal verwerken idem dito. Een voor de hand liggende conclusie is dat er een kortsluiting tussen twee sporen op de print aanwezig kan zijn. Een van de vervelendste fouten om op te sporen! Spoortje zo dicht mogelijk bij het IC dat het signaal genereert met een mesje doorkrassen. Wéér meten, niets. Onderbreking dicht solderen, elders dezelfde procedure herhalen. Na vele pogingen slaagt men er in de meeste gevallen inderdaad in de plaats van de kortsluiting te achterhalen. Meestal een uiterst dun koper restje dat twee printbaantjes verbindt. Maar in de meeste gevallen is nadien de print zo aangetast dat de betrouwbaarheid op lange termijn ernstig ter diskussie kan worden gesteld.

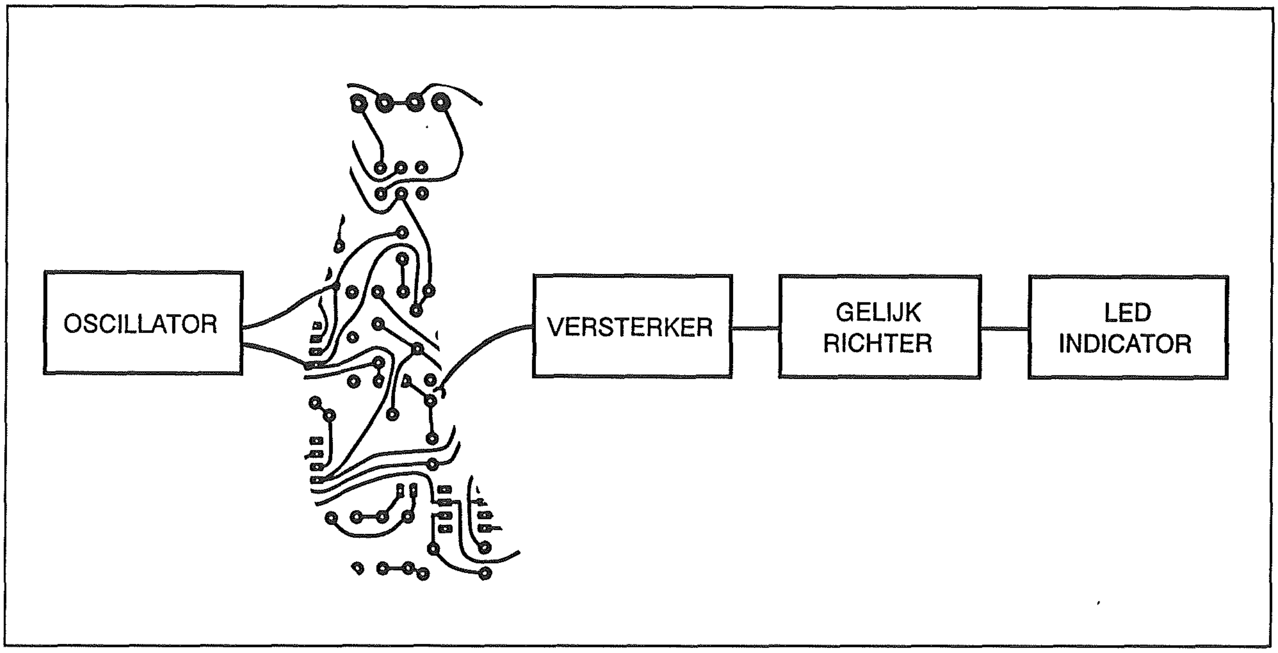
Een alternatieve methode
Wie vaak met dit soort problemen te maken heeft wordt dringend aangeraden de in dit hoofdstuk beschreven eenvoudige schakeling na te bouwen. Het apparaatje is namelijk ontwikkeld voor het probleemloos opsporen van kortsluitingen tussen printspoortjes.
Het principe van het meetapparaat volgt uit figuur 4/7.23-1.



Figuur 4/7.23-1: Het principe waarmee kortsluitingen op een print opgespoord kunnen worden.

In deze figuur zijn twee printspoortjes getekend, A en B, waartussen ergens een kortsluiting bestaat. Sluit men een wisselspanningssignaal aan tussen de punten A en B, dan zal er een kortsluitstroom I_1 door de printsporen gaan vloeien. Deze stroom loopt echter alleen door de printsporen tot bij de kortsluiting. Na de kortsluiting zijn de sporen stroomloos.

7.23 Stroomsonde voor foutzoeken in digitale schakelingen



Figuur 4/7.23-2: Het blokschema van de stroomsonde.

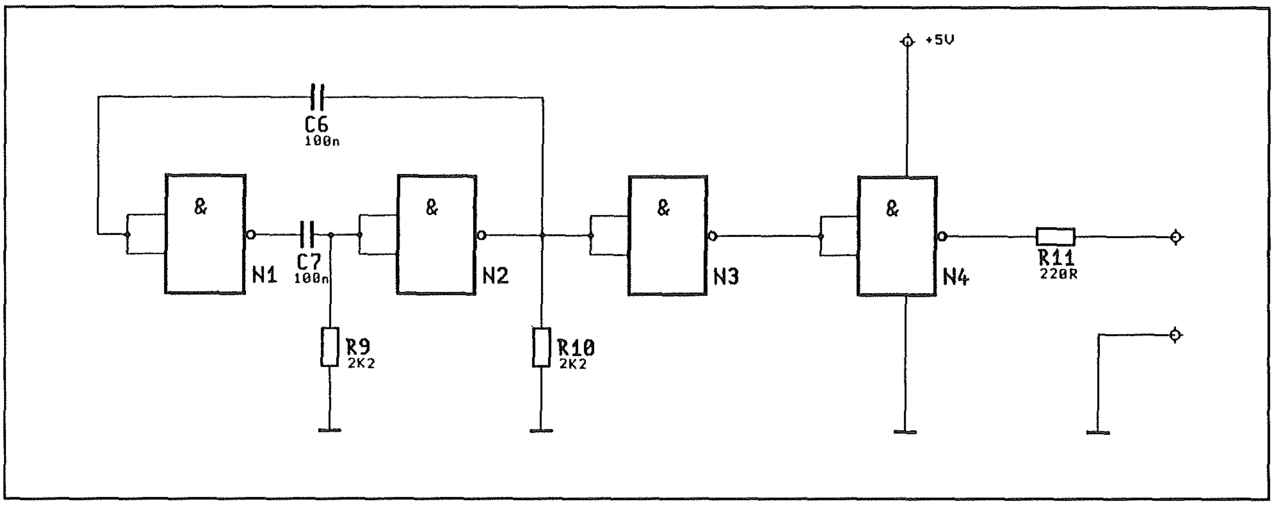
Nu is het een bekend verschijnsel dat een wisselstroom een elektromagnetisch veld opwekt.
Rond de kortgesloten printsporen zal dus een klein elektromagnetisch veld aanwezig zijn.
Dat veld zal in een spoeltje, dat tegen de printsporen wordt gehouden, een kleine wisselspanning genereren. Deze wisselspanning kan versterkt worden en kan gebruikt worden voor het sturen van een indicator.
Vermoedt men dus een kortsluiting tussen de printsporen A en B, dan volstaat het tussen de punten A en B een wisselspanningssignaal aan te sluiten. Met een probe, waarin een klein spoeltje is ingebouwd, volgt men nu het verloop van de printbaantjes. Op een bepaald moment, na de kortsluiting, valt de stroom weg en dus ook de in het spoeltje geïnduceerde spanning. De indicator dooft, men heeft de plaats van de kortsluiting gelokaliseerd.

Blokschema
Het blokschema van het apparaatje is getekend in figuur 4/7.23-2.

Het meetapparaatje bestaat uit een "zender" en een "ontvanger". De "zender" is niets meer dan een eenvoudige blokgolfoscillator, die een signaal met een frequentie van 1 kHz genereert. Dit signaal wordt aangesloten op de twee printsporen waartussen men een kortsluiting vermoedt.
De "ontvanger" is samengesteld uit een probe met het spoeltje, een gevoelige wisselspanningsversterker, een gelijkrichter en een LED-indicator. Het zeer kleine signaaltje dat door het spoeltje wordt opgepikt wordt versterkt en nadien gelijkgericht. Het gelijkgerichte signaal stuurt de LED in geleiding.

De "zender"
Het praktische schema van de "zender" is getekend in figuur 4/7.23-3.

7.23 Stroomsonde voor foutzoeken in digitale schakelingen



Figuur 4/7.23-3: Het praktische schema van de "zender".

De schakeling bestaat uit niets meer dan een SN74LS00, waarvan de twee eerste poorten N1 en N2 als astabiele multivibrator zijn geschakeld. De frequentie van 1 kHz wordt bepaald door de waarde van de condensatoren C6 en C7 en de weerstand R9. De twee overige poorten zijn als buffer geschakeld. De uitgang van de laatste poort wordt via een serieweerstand R11 naar buiten gevoerd. Deze weerstand zorgt ervoor dat bij kortgesloten uitgang de schakeling goed blijft werken en het signaal in staat is een stroompje door de kortgesloten printbanen te sturen. De tweede printbaan wordt uiteraard verbonden met de massa van de schakeling.

De "ontvanger"

Het praktische schema van de ontvanger is getekend in figuur 4/7.23-4.

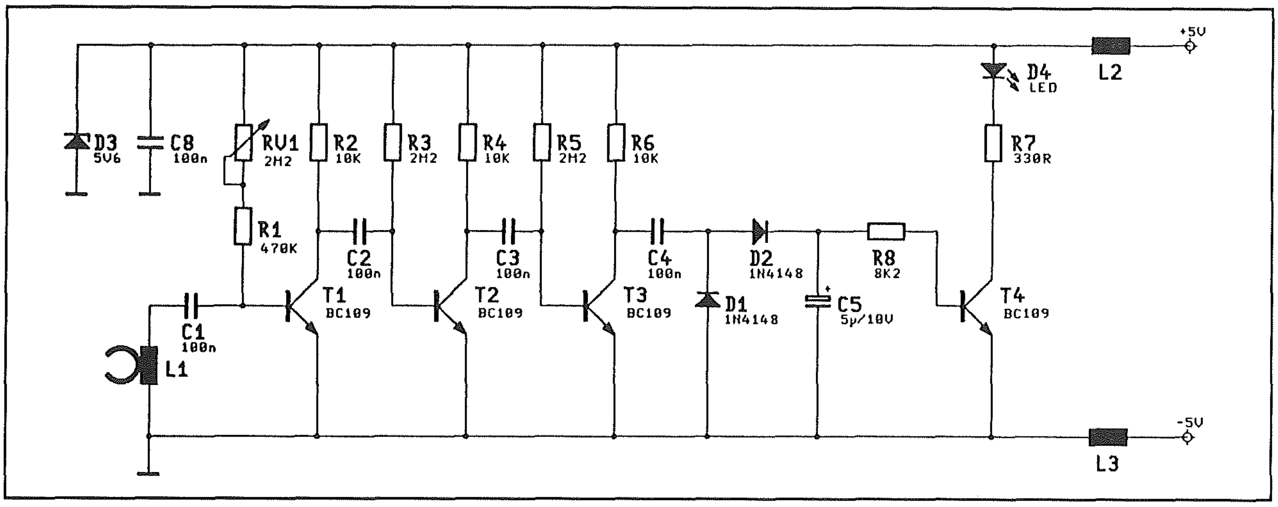
Het spoeltje L1 in de stroomsonde wordt via een scheidingscondensator C1 aangesloten op de ingang van een drietraps transistorversterker. Door middel van de instelpotentiometer RV1 kan men het werkpunt van de eerste trap instellen en daarmee ook de totale versterking van de schakeling. De drie trappen zijn capacitief gekoppeld en er is geen enkele vorm van terugkoppeling aanwezig. Dat is voor een dergelijke eenvoudige schakeling ook niet noodzakelijk! Het signaal op de collector van transistor T3 wordt aangeboden aan een top-detector. De condensator C4 zorgt er met de diode D1 voor dat het signaal over de diode niet meer dan ongeveer 0,65 V negatief kan worden. Het grootste deel van het versterkte signaal kan dus worden gelijkgericht door de diode D2. Het gelijkgerichte signaal wordt afgevlakt door de condensator C5 en stuurt via de weerstand R8 de transistor T4 in verzadiging. In de collector van deze halfgeleider is een gevoelige LED D4 opgenomen. De LED gaat branden als de stroomsonde een signaal oppikt en dooft wanneer dit niet het geval is.

De schakeling is erg gevoelig: een ingangsspanning van ongeveer 1 mV op de basis van T1 is voldoende om de LED in geleiding te sturen!

De voeding

Zowel "zender" als "ontvanger" kunnen gevoed worden uit de +5 V systeemvoeding van de digitale schakeling.

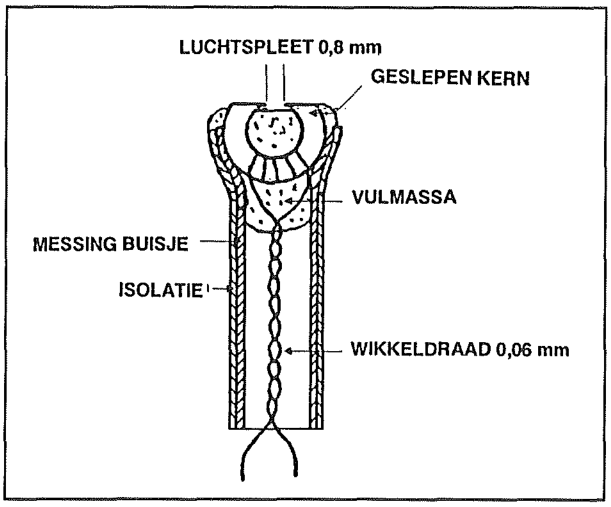
7.23 Stroomsonde voor foutzoeken in digitale schakelingen



Figuur 4/7.23-4: Het praktische schema van de "ontvanger".

Om de schakeling te beschermen tegen te hoge voedingsspanning is de zenerdiode D3 aanwezig.
Omdat de schakeling erg gevoelig is moet men er voor zorgen dat het signaal van de "zender" niet via de gemeenschappelijke voeding tot de "ontvanger" kan doordringen. Vandaar dat in de twee voedingslijnen twee kleine ringkernspoeltjes L2 en L3 zijn opgenomen. Deze vormen met de condensator C8 een laagdoorlaatfilter, dat het eventueel op de voedingsspanning aanwezige residu van het 1 kHz signaal afdoende onderdrukt.

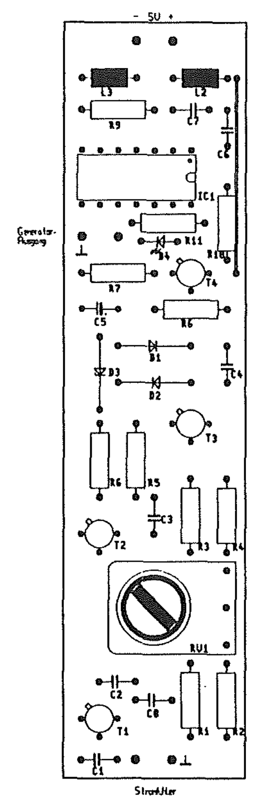
De bouw van de stroomsonde
De stroomsonde is uiteraard het meest kritische onderdeel van deze schakeling. De goede werking van het apparaat hangt volledig af van de nauwkeurigheid waarmee de sonde in elkaar wordt geknutseld! En dat er op de vierkante millimeter geknutseld moet worden is een zaak die zeker is! Hart van de sonde is namelijk een klein ringetje uit ferriet met een buitendiameter van slechts 4 mm! Dergelijke ferrietkraaltjes worden in de hoogfrequente techniek gebruikt voor het ontkoppelen van geleiders en zijn in de meeste elektronica onderdelen zaken wel te koop.



Figuur 4/7.23-5: Een doorsnede door de stroomsonde.

In figuur 4/7.23-5 is een doorsnede getekend van de stroomsonde.
Eerste stap is dat het ferriet ringetje wordt afgeslepen en wel zo dat er een luchtspleetje van ongeveer 0,8 mm ontstaat.
Door de aldus ontstane opening worden vervolgens ongeveer 60 windingen aangebracht met wikkeldraad met een diameter van 0,06 mm.

7.23 Stroomsonde voor foutzoeken in digitale schakelingen



Figuur 4/7.23-7: De componentenopstelling van de tester.

Het spoeltje wordt in een 4 cm lang dun messing pijpje, waarvan men de opening voorzichtig met een spijkerpunt iets breder heeft gemaakt, vastgeplakt. Let er op dat de wikkelingen geen kontakt mogen maken met het messing.
Het geheel wordt nu met een druppeltje vulmassa gefixeerd en netjes afgewerkt.
Het messing pijpje wordt vervolgens als een soort punt (alweer met sneldrogende vulmassa, zoals epoxy) gemonteerd in een metalen buisje met een grotere diameter. Men zou bijvoorbeeld de behuizing van een oude viltstift kunnen gebruiken. In deze behuizing worden de twee uiterst dunne draadjes van het spoeltje verbonden met een afgeschermd kabeltje. Dat is een zeer precies werkje en de kans is groot dat een van de draadjes de eerst keer afbreekt en men het spoeltje opnieuw moet maken. Maar is dat niet een van de charmes van doe-het-zelven? Als het soldeerwerk gelukt is moet men uiteraard deze zeer zwakke mechanische verbinding fixeren, waarvoor alweer epoxy kan worden toegepast.
De afgeschermde kabel wordt aan de vrije zijde voorzien van een afgeschermde connector, zoals bijvoorbeeld een cinch.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W:

R1	=	470 kΩ
R2,R4,R6	=	10 kΩ
R3,R5	=	2,2 MΩ
R7	=	330 Ω
R8	=	8,2 kΩ
R9,R10	=	2,2 kΩ
R11	=	220 Ω

Instelpotentiometer, liggend, 5 x 10 mm:

RV1	=	2,2 MΩ

Condensatoren:

C1,C2,C3,C4	=	100 nF ceramisch
C6,C7,C8	=	100 nF ceramisch
C5	=	4,7 µF 10 V elco

Halfgeleiders:

D1,D2	=	1N4148
D3	=	5,6 V zener
D4	=	LED rood
T1,T2,T3,T4	=	BC109
IC1	=	SN74LS00

Diversen:

L1,L2,L3	=	zie tekst

7.23 Stroomsonde voor foutzoeken in digitale schakelingen

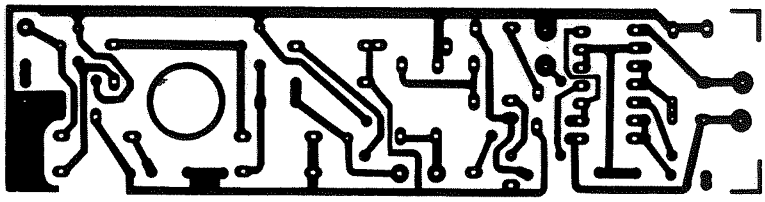
De bouw van de elektronica
Alle elektronische onderdelen zitten op het kleine printje dat in figuur 4/7.23-6 wordt voorgesteld.
De componentenopstelling is getekend in figuur 4/7.23-7.

De twee spoeltjes L2 en L3 moeten ook zelf worden gewikkeld.
Men gaat uit van ferrietkraaltjes men een diameter van 10 mm. Op deze kraaltjes worden 40 windingen gewikkeld met wikkeldraad van 0,3 mm diameter.

De afwerking
De print kan in een klein kastje worden ondergebracht, waarbij de LED zo op de print wordt gesoldeerd dat deze door een gaatje in de behuizing kan worden gestoken. De behuizing moet in ieder geval geleidend zijn, dit vanwege de grote gevoeligheid van de versterker. Het is immers niet de bedoeling dat de LED gaat branden op het door de versterker versterkte 50 Hz bromsignaal!
Een goede manier om de behuizing te maken is gebruik te maken van ongeëtste printplaat. Hieruit zaagt men zes stukjes, die nadien met soldeer aan elkaar bevestigd worden. De massa van de schakeling moet in ieder geval verbonden worden met het kastje en het aangewezen punt daarvoor is de ingang van de versterker. Op de print is daarvoor een aansluiting voorzien, in figuur 4/7.23-7 voorzien van het massa-symbooltje. Dit punt en de daarnaast gelegen "hete" ingang van de versterker worden met zo kort mogelijke draadjes verbonden met de vrouwelijke cinch-connector, die in de onderkant van de behuizing wordt bevestigd. De uitgang van de generator en de massa kunnen met gewoon onafgeschermd soepel snoer worden uitgevoerd. Het is natuurlijk handig deze twee draadjes te voorzien van miniatuur klemmetjes, zodat de draadjes bijvoorbeeld op de aansluitdraadjes van weerstanden of pennetjes van IC's op de print kunnen worden aangesloten.

Het werken met de stroomsonde
De stroomsonde mag alleen gebruikt worden in schakelingen die niet gevoed worden! De twee draadjes van de oscillator worden via de klemmetjes verbonden met onderdelen die op de verdachte printspoortjes vast gesoldeerd zijn. Nadien draait men de print om, dus met het koperpatroon naar boven en houdt de stroomsonde in de buurt van het punt waar men het signaal van de "zender" inkoppelt. De LED zal nu branden. Men tast nu voorzichtig en langzaam de printspoortjes af. Als de LED opeens dooft heeft men de plaats getraceerd waar een kortsluiting tussen de sporen aanwezig is.

7.23 Stroomsonde voor foutzoeken in digitale schakelingen



Figuur 4/7.23-6: De print van de schakeling.

4/7.24

Griddip-meter voor 375 kHz tot 71 MHz

Inleiding

Een griddip-meter is een universeel meetinstrument dat zeer bruikbaar is voor zendamateurs, draadloze modelbouw hobby-isten, HF-experimenteerders en iedereen die hoogfrequente schakelingen ontwerpt of repareert. De naam "griddip" stamt uit het buizentijdperk. Het woord "grid" is de Engelse benaming voor "rooster" of de stuurelektrode van een buis. Het woord "dip" verwijst naar de amplitudedaling die op het rooster van een oscillerende buis ontstaat als men de resonantiekring van de buis belast met een tweede kring, die op dezelfde frequentie is afgestemd.

Met een griddip-meter kan men, kort samengevat, de resonantiefrequentie van afgestemde HF-kringen opzoeken.

Nu zou men kunnen opmerken dat dit in principe ook kan met een digitale frequentiemeter. Dat is echter niet het geval! Een frequentiemeter heeft namelijk een vrij hoge capacitieve ingangsimpedantie. Deze wordt ten dele veroorzaakt door de afgeschermde kabel, waarmee men de meter aansluit, maar ook door de ingangsversterker van de meter. Deze capaciteit komt parallel te staan aan de capaciteit van de afgestemde kring, waardoor de resonantie-frequentie van de kring verandert. De meting is dus niet betrouwbaar. Bij kritische schakelingen kan het zelfs gebeuren dat het aansluiten van een digitale frequentiemeter tot gevolg heeft dat de schakeling waarin gemeten wordt "afslaat". Vormt de afgestemde kring het hart van een oscillator, dan zal deze oscillator door de capacitieve belasting van de meter ophouden met oscilleren.

Van dit soort verschijnselen heeft men veel minder last als men meet met een griddip-meter. De belasting die een griddip-meter uitoefent op een afgestemde kring is namelijk veel kleiner en, vergeleken met de belasting die een digitale frequentiemeter vormt, zelfs verwaarloosbaar. Daardoor zal de resonantiefrequentie van de kring die gemeten wordt nauwelijks van waarde veranderen door de meting.

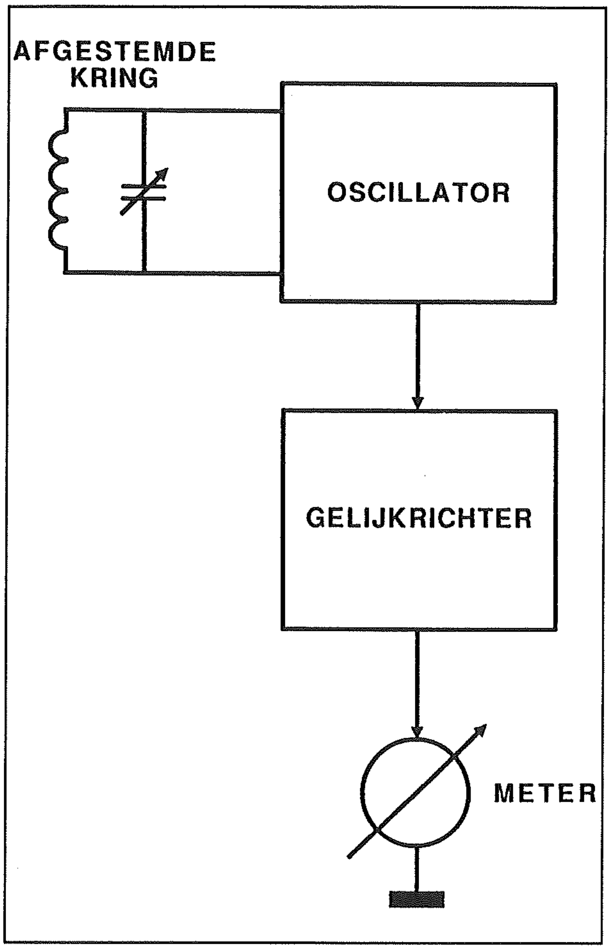
Blokschema

Het algemene blokschema van een griddip-meter is getekend in figuur 4/7.24-1.

Een griddip-meter bestaat uit een oscillator en een gelijkrichter. De oscillator heeft echter geen vaste afstemcomponenten, maar een draaibare condensator en een verwisselbare spoel. Op die manier kan men de resonantiefrequentie van de oscillator over een breed gebied instellen.

De uitgangsspanning van de oscillator wordt naar een gelijkrichter gevoerd. Deze richt de oscillatorspanning gelijk en het resultaat van deze gelijkrichting stuurt een draaispoelmetertje.

7.24 Griddip-meter voor 375 kHz tot 71 MHz



Figuur 4/7.24-1: Het blokschema van een grid-dip-meter.

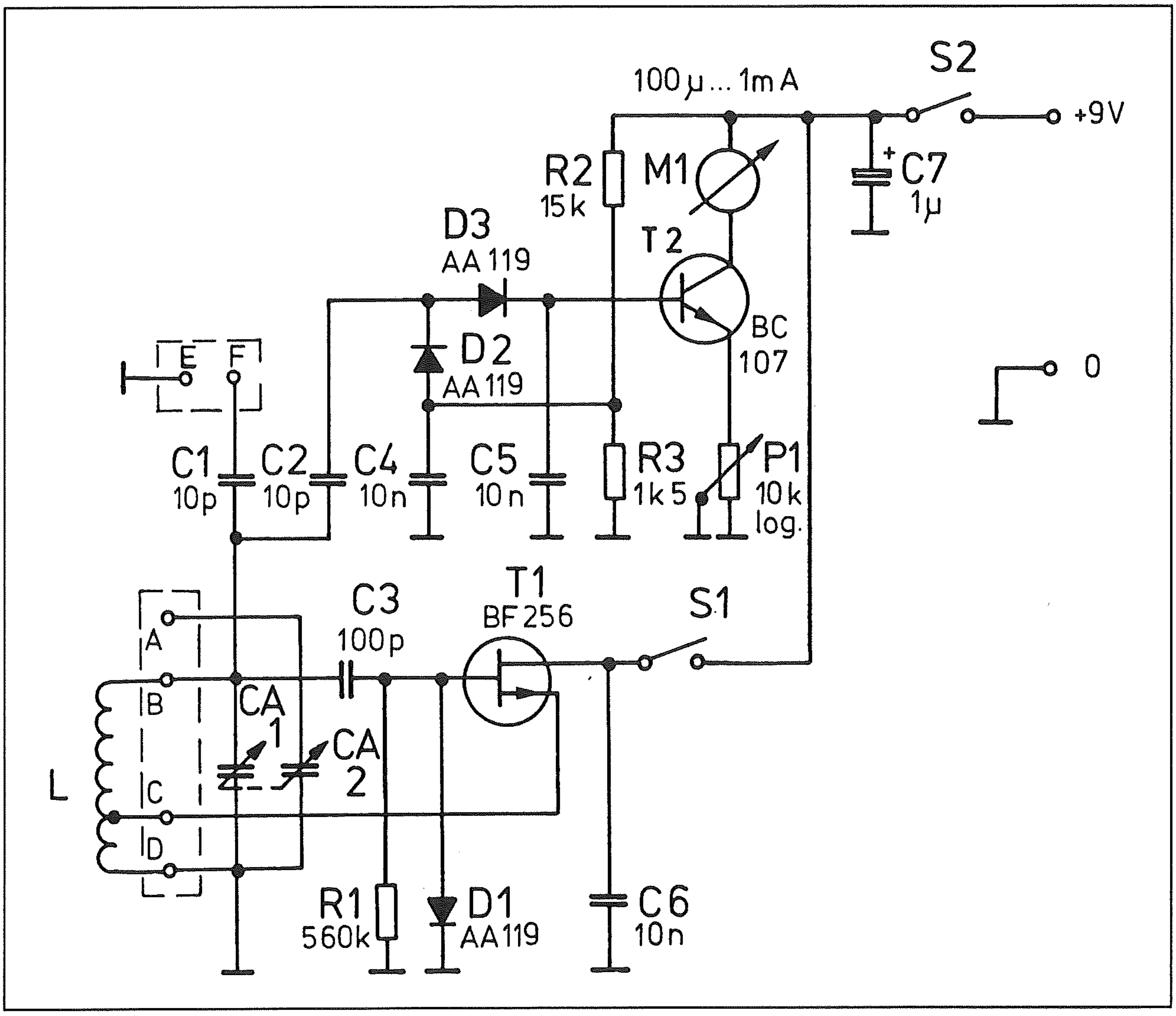
Rond de afgestemde kring wordt een elektromagnetisch veld opgebouwd. Als dit veld in de buurt komt van een andere afgestemde kring, kan het gebeuren dat een deel van de elektromagnetische energie door die kring wordt opgeslorpt. Dat gebeurt als de resonantiefrequentie van die andere afgestemde kring gelijk is aan deze van de afgestemde kring van de oscillator. Het gevolg is dat een deel van de kringenergie wegvalt en dat de wisselspanning van de oscillator daalt. Deze daling kan op de meter afgelezen worden. Brengt men dus de spoel van de griddipmeter in de buurt van een afgestemde kring en verdraait men de condensator tot de meter minimale uitslag geeft (dus een "dip" vertoont), dan weet men dat er maximale elektromagnetische koppeling tot stand is gekomen tussen beide afgestemde kringen. Dat gebeurt alleen als de resonantiefrequenties van beide kringen aan elkaar gelijk zijn. Door de condensatorknop te ijken kan men op deze eenvoudige manier de resonantiefrequentie van een vreemde afgestemde kring bepalen.

Opmerking
Het bouwen van een griddip-meter is een zeer aangename tijdbesteding voor doe-het-zelvers. Toch moet men er rekening mee houden dat de nabouw vrij moeilijk is. Men moet bijvoorbeeld een aantal spoelen wikkelen, een afstemschaal ijken met een digitale frequentiemeter en op zoek gaan naar een specifieke afstemcondensator. De bouw van een dergelijke schakeling is dus alleen weggelegd voor doe-het-zelvers in hart en nieren, die geen genoegen nemen met een kant-en-klaar bouwpakket, maar hun hobby nog op de echte ouderwetse manier willen uitoefenen: zoveel mogelijk zélf doen!

Het schema
Het schema van de griddip-meter is getekend in figuur 4/7.24-2.

Basis van de schakeling is de oscillator rond de FET T1. De resonantiefrequentie van deze oscillator wordt bepaald door de onderdelen L, CA1 en CA2. De oscillator is opgebouwd volgens het driepuntsprincipe. Dat heeft als nadeel dat de spoel een aftakking heeft, maar heeft als voordeel dat de oscillator zeer stabiel werkt, in het bijzonder wat betreft de amplitude van het uitgangssignaal. Het aftakpunt van de spoel is niet kritisch.

7.24 Griddip-meter voor 375 kHz tot 71 MHz



Figuur 4/7.24-2: Het volledige schema van de griddip-meter.

Het punt C kan liggen tussen 1/5 en 1/2 van het totaal aantal windingen. De diode D1 beschermt de gate van de FET tegen spanningssprongen die kunnen ontstaan als men de spoel uit de schakeling verwijdert en vervangt door een andere spoel.
De gate-spanning van de oscillator wordt via de scheidingscondensator C2 doorgekoppeld naar de gelijkrichter. Het netwerk D2, D3, C4, C5 en R3 vormt een top-detector, die de top-tot-top waarde van het oscillatorsignaal omzet in een gelijkspanning. De transistor T2 wordt met dit signaal gestuurd. De weerstanden R2 en R3 worden gebruikt voor het instellen van het werkpunt van de transistor. De instelpotentiometer P1 in de emitter bepaalt de gevoeligheid van de detector.
De schakelaar S1 wordt gebruikt om de oscillator al dan niet onder spanning te zetten. Opent men deze schakelaar, dan is de oscillator uitgeschakeld en kan het apparaat gebruikt worden om de via de aansluitingen "E" en "F" ingekoppelde hoogfrequente wisselspanning te meten. Waarom deze optie noodzakelijk is wordt

verklaard in een van de volgende paragrafen.

De afstemcondensator
De afstemkring van de oscillator bestaat uit de onderdelen L, CA1 en CA2.
De afstemcondensator CA kan gesloopt worden uit een oude draagbare transistorradio. Dergelijke draaibare condensatoren zijn in de meeste gevallen samengesteld uit vier condensatoren, die als waarde 2 x 200 pF en 2 x 25 pF hebben. Door het parallel schakelen van deze condensatoren verkrijgt men de waarden:
CA1 = 50 pF max;
CA2 = 400 pF max.
De waarden van de spoelen zijn berekend aan de hand van de genoemde condensatorwaarden.

De afstemspoelen
Het volledige frequentiebereik wordt bestreken met zeven spoelen. Alle spoelen moeten gewikkeld worden op een kern met een diameter van 10 mm. Deze kernen worden via een vierpolige connector met het apparaat verbonden. Welke connector wordt gebruikt maakt in principe niet uit. Wel moeten deze connectoren zo groot zijn dat men de spoelkern zonder problemen erop kan vastlijmen.
Nadat de spoelen gewikkeld zijn en afgeregeld moet men deze fixeren met tweecomponenten hars.
Uit het algemene schema blijkt dat de spoel wordt aangesloten tussen de aansluitingen B en D van de connector. De aftakking gaat naar aansluiting C. Voor bepaalde frequentiebereiken worden de aansluitingen A en B doorverbonden. Daardoor worden de twee afstemcondensatoren CA1 en CA2 parallel geschakeld.
Voor het afstemmen van de spoelen mag men geen ferrietkernen gebruiken! De spoelkokers moeten in ieder geval vrij blijven en voor het afstemmen van de spoelen moet men het aantal windingen aanpassen. Men doet er dus verstandig aan alle spoelen van iets meer windingen te voorzien. Nadien kan men, bij het afregelen van de schakeling, eventuele overtollige windingen weer verwijderen tot de frequentiebereiken kloppen. Voor sommige frequentiebereiken moet men een condensator parallel schakelen aan de spoel, dus tussen de aansluitingen B en D.

Bereik 1
- frequentie:
  375 kHz tot 506 kHz
- spoelinductantie:
  196 µH
- aantal windingen:
  220
- draaddiameter:
  0,1 mm
- aftakking:
  na 70 windingen
- condensator tussen B en D:
  680 pF
- doorverbinding tussen A en B:
  ja

Bereik 2
- frequentie:
  395 kHz tot 1,56 MHz
- spoelinductantie:
  358 µH
- aantal windingen:
  300
- draaddiameter:
  0,1 mm
- aftakking:
  na 100 windingen
- condensator tussen B en D:
  630 pF
- doorverbinding tussen A en B:
  ja

7.24 Griddip-meter voor 375 kHz tot 71 MHz

Bereik 3
- frequentie:
  1,5 MHz tot 6,4 MHz
- spoelinductantie:
  25 µH
- aantal windingen:
  70
- draaddiameter:
  0,2 mm
- aftakking:
  na 20 windingen
- condensator tussen B en D:
  nee
- doorverbinding tussen A en B:
  ja

Bereik 4
- frequentie:
  6,3 MHz tot 26,2 MHz
- spoelinductantie:
  1,4 µH
- aantal windingen:
  12
- draaddiameter:
  0,5 mm
- aftakking:
  na 4 windingen
- condensator tussen B en D:
  nee
- doorverbinding tussen A en B:
  ja

Bereik 5
- frequentie:
  10,0 MHz tot 11,3 MHz
- spoelinductantie:
  1,4 µH
- aantal windingen:
  12
- draaddiameter:
  0,5 mm
- aftakking:
  na 6 windingen
- condensator tussen B en D:
  nee
- doorverbinding tussen A en B:
  nee

Bereik 6
- frequentie:
  26,0 MHz tot 45,7 MHz
- spoelinductantie:
  0,9 µH
- aantal windingen:
  6
- draaddiameter:
  0,8 mm
- aftakking:
  na 3 windingen
- condensator tussen B en D:
  nee
- doorverbinding tussen A en B:
  nee

Bereik 7
- frequentie:
  44,5 MHz tot 71 MHz
- spoelinductantie:
  0,4 µH
- aantal windingen:
  3,5
- draaddiameter:
  1 mm
- aftakking:
  na 1 winding
- condensator tussen B en D:
  nee
- doorverbinding tussen A en B:
  nee

Formules

Voor het geval dat men de beschreven draaibare condensator niet kan vinden worden in deze paragraaf de formules beschreven, waarmee men de afgestemde kring kan berekenen. De inductantie van de spoel kan berekend worden uit de formule:

$L=25.330/f^2.C$

Hierin staat C voor de maximale waarde van de draaibare condensator (in pF) en f voor de minimale frequentie van het bereik (in MHz). De waarde van L wordt uitgedrukt in µH. Het frequentiebereik wordt gegeven door de formule:

$C_{max}/C_{min}=f_{min}^2/f_{max}^2=n$

In deze formule staan C_{min} en C_{max} voor de minimale en maximale capaciteit van de toegepaste draaibare condensator. De waarden van de capaciteit worden uitgedrukt in pF, de waarden van de frequenties in MHz. Het getal n geeft de verhouding weer tussen de maximale en minimale frequentie van een bepaald bereik.

Uit deze formule kan men de eventuele noodzakelijke parallel-condensator berekenen:

$(C_{max}+x)/(C_{min}+x)=n$

Men moet in deze formule de waarde van x berekenen, de condensator die parallel tussen de pennen B en D moet worden opgenomen om de schaal van het bereik te laten kloppen.

Het aantal windingen van de spoel volgt uit de formule:

$n=\sqrt{[(L/102)+45]}/D$

In deze formule staat:

- L voor de inductiviteit van de spoel in µH;
- D voor de diameter van het spoellichaam in cm.

In de praktijk moet men ongeveer 20% meer windingen wikkelen. Bij het afregelen van de schakeling wikkelt men af tot het juiste aantal windingen bereikt is.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W, 5 %:

R1	=	560 kΩ
R2	=	15 kΩ
R3	=	1,5 kΩ

Potentiometer, log.:

P1	=	10 kΩ

Condensatoren:

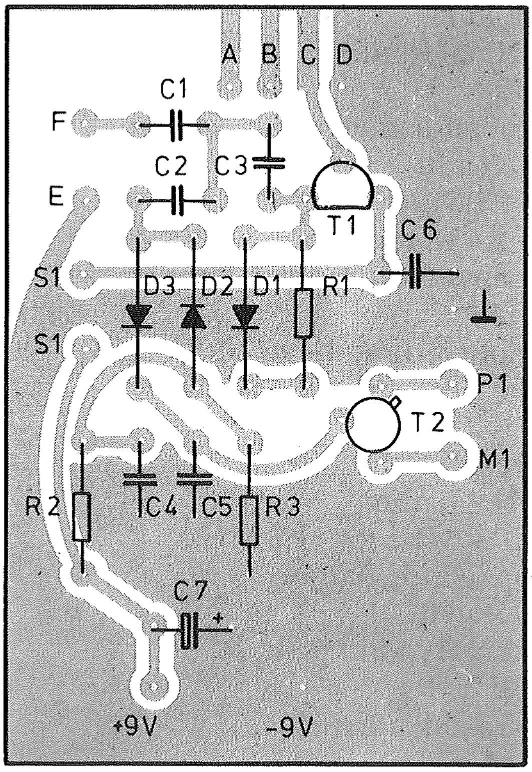
C1,C2	=	10 pF,	ceramisch
C3	=	100 pF,	ceramisch
C4,C5,C6	=	10 nF,	ceramisch
C7	=	1 µF,	16 V elco

Halfgeleiders:

D1,D2,D3	=	AA119
T1	=	BF256
T2	=	BC107

Diversen:

CA1,CA1 = zie tekst
L = zie tekst
M1 = 100 µA draaispoelmeter
S1,S2 = enkelpolige AAN/UIT-schakelaar



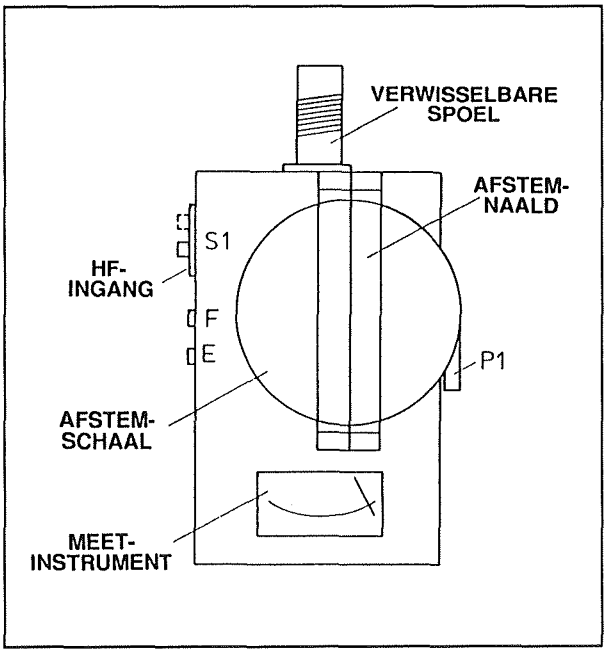
Figuur 4/7.24-4: De componentenopstelling van de print.

7.24 Griddip-meter voor 375 kHz tot 71 MHz

De bouw van de schakeling

De print van de schakeling is getekend in figuur 4/7.24-3 op de transparante printpagina.
De componentenopstelling volgt uit figuur 4/7.24-4.

Nadat alle onderdelen conform de componentenopstelling zijn aangebracht, moet men zich gaan bezig houden met de uiteindelijke vormgeving van de griddipmeter. Men kan het best een metalen behuizing ontwerpen volgens figuur 4/7.24-5.



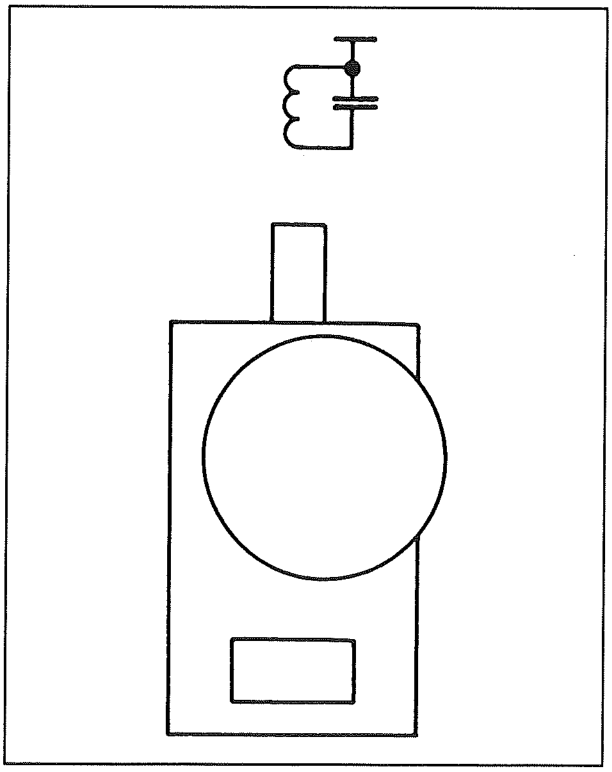
Figuur 4/7.24-5: Een aanbevolen behuizing voor de griddip-meter.

De print wordt in de behuizing gemonteerd. Op het frontplaatje wordt de afstemcondensator bevestigd en de meter. De afstemcondensator wordt voorzien van een grote transparante schijf uit plexiglas, waarop men bij het afregelen de frequentieschalen kan aanbrengen. Boven deze schijf wordt, eveneens uit plexiglas, de afstemnaald bevestigd. De schaal moet vrij onder de naald kunnen bewegen.
Aan de bovenzijde van de behuizing wordt de vierpolige connector gemonteerd, waarop de afstemspoelen worden aangesloten. Aan de rechterkant, op dezelfde hoogte als de afstemcondensator, wordt de potentiometer vastgeschroefd.
In de linker zijwand komen gaatjes voor de twee schakelaars S1 en S2 en voor de HF-ingangen “E” en “F”.
Nadat het kastje mechanisch is voorbewerkt en alle onderdelen zijn aangebracht, kan men de bedrading tussen deze onderdelen en de print solderen. De meter M1 heeft maar één aansluiting op de print, de tweede moet rechtstreeks verbonden worden met de +9 V. De potentiometer P1 moet tussen de aansluitingen “P1” en “massa” aangesloten worden. De twee schakelaar gaan met één draad naar de aansluitingen “S1” en “S2” en met de tweede naar de positieve klem van de 9 V batterij.

Het afregelen

Men start de afregeling met de spoel voor het laagste frequentiebereik in het apparaatje te steken. De schakelaars S1 en S2 worden gesloten. De meter moet nu uitslaan, ten teken dat de oscillator werkt. Op de eerste plaats moet men de minimale en maximale frequenties van het bereik opzoeken. Daarvoor wordt een digitale frequentiemeter tussen de aansluitingen “E” “F” aangesloten. Men draait de condensator CA in de ene uiterste stand en noteert de frequentie. Nadien draait men de condensator in de andere uiterste stand en herhaalt de procedure. Het komt er nu op aan windingen van de spoel af te wikkelen tot beide waarden ongeveer kloppen met de waarden die in dit hoofd-

stuk zijn beschreven. Nadien kan men een schaaltje maken door bijvoorbeeld om de 10° verdraaiingshoek de frequentie te meten en op de plexiglazen schaal te noteren. Een andere methode is om de schaal te ijken per 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz of 10 MHz. De juiste standen van de condensator worden op de schaal genoteerd. Nadat alle zeven de bereiken op deze manier zijn gecalibreerd kan men de afstemschaal weer verwijderen en de zeven schaalindelingen netjes aanbrengen.



Figuur 4/7.24-6: Inductieve koppeling tussen de griddip-meter en de afgestemde kring die men wil meten.

Het werken met de griddip-meter

Het werken met een griddip-meter vereist best wel enige ervaring! In de praktijk komt het er op neer dat men een capacitieve of inductieve koppeling moet maken met de kring waarvan men de resonantiefrequentie wil meten en de afstemschaal moet verdraaien tot de meter een minimale uitslag heeft. Slaat de naald in de hoek, dan kan men door het verdraaien van de potentiometer P1 de gevoeligheid verkleinen.
In de volgende paragraafjes worden de verschillende koppelingsmethoden beschreven.

Inductieve koppeling

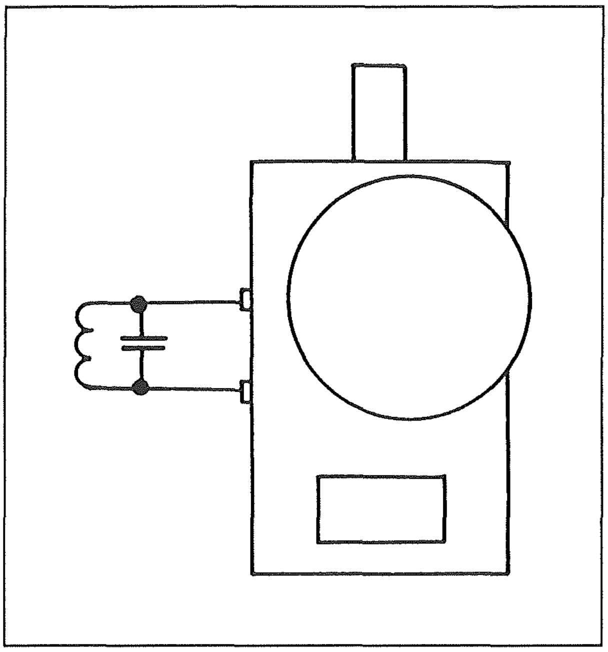
Bij deze methode werkt men zoals getekend in figuur 4/7.24-6.
De spoel van de griddip-meter wordt zo dicht mogelijk in de beurt van de spoel van de te meten kring gebracht. Men verdraait nu de afstemschaal tot de meter M1 een minimale uitslag vertoont. Nadien trekt men de spoel van de griddip-meter enige centimeter terug en regelt opnieuw af op minimale uitslag.
Hierdoor wordt de koppeling tussen beide kringen losser en zal de griddip-meter de oscillatie-frequentie van de te meten kring minder beïnvloeden. Op het moment dat de meter zijn minimale uitslag heeft kan men de resonantie-frequentie van de kring op de schaal van de griddipmeter aflezen.
Meet men aan de primaire kring van banddoorlaatfilters, dan moet men de secundaire kring tijdens de meting verstemmen door een parallelcondensator tussen de secundaire spoelaansluitingen te solderen.

Capacitieve koppeling

Deze methode, geschetst in figuur 4/7.24-7, wordt toegepast als de spoel van de kring volledig is afgeschermd en men dus niet inductief kan koppelen. Door middel van twee draadjes, die niet langer mogen zijn dan 10 cm, wordt de spoel verbonden met de ingangen "E" en "F" van de griddip-meter. De capacitieve kop-

7.24 Griddip-meter voor 375 kHz tot 71 MHz

peling wordt nu veroorzaakt door de condensatoren C1 en C2 in de griddip-meter.

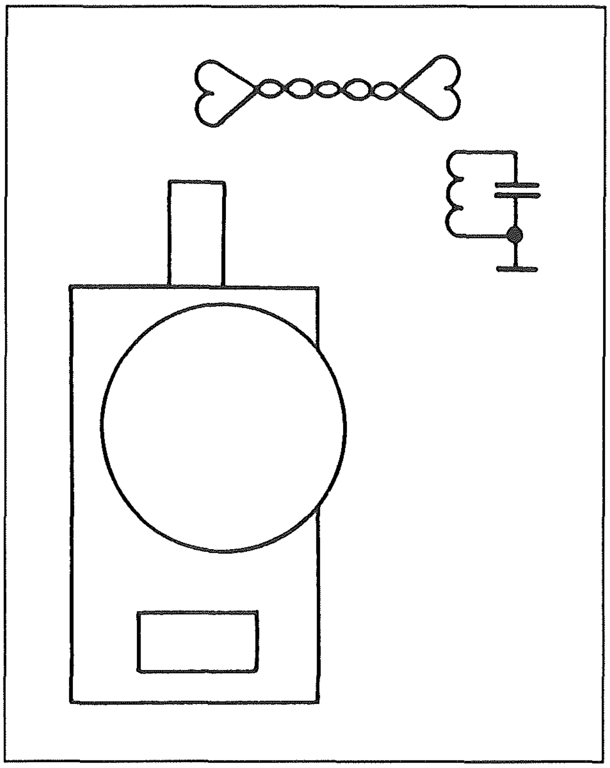


Figuur 4/7.24-7: Capacitieve koppeling wordt toegepast als de spoel van de afgestemde kring afgeschermd is in een metalen behuizing en men dus niet inductief kan koppelen.

De meetprocedure is volledig identiek met deze beschreven bij de inductieve koppeling. Alleen heeft het nu uiteraard geen zin het apparaat verder van de schakeling te verwijderen! Nadeel van de capacitieve koppeling is dat de griddip-meter de kring waarin gemeten wordt fors belast, hetgeen uiteraard van invloed is op de resonantie-frequentie van de kring. Als het enigszins kan moet deze methode dan ook vermeden worden.

Inductieve koppeling door middel van een lintkabel

Zit de spoel van de afgestemde kring waarin men wil meten op een nauwelijks toegankelijke plaats, dan kan men het systeem van figuur 4/7.24-8 toepassen.

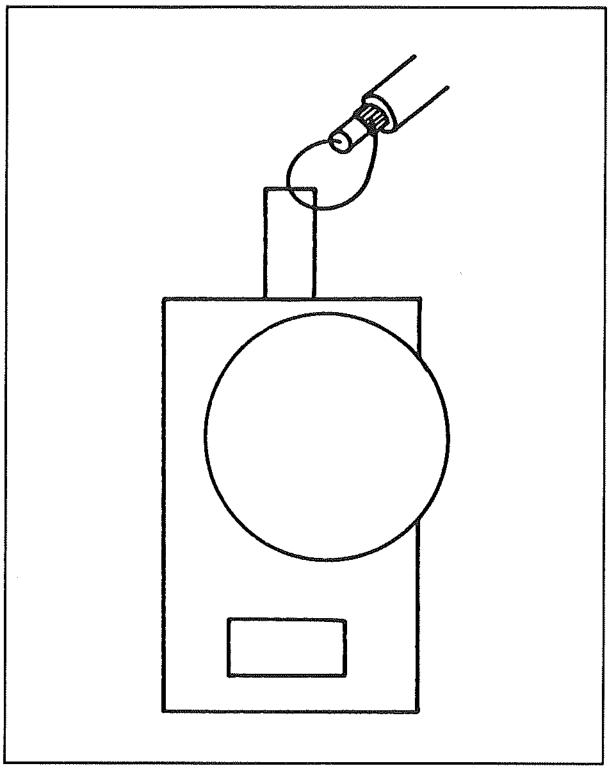


Figuur 4/7.24-8: Inductieve koppeling met een stukje lintkabel als medium.

Een stukje lintkabel met een impedantie van 300 Ω wordt aan weerszijden met een lusje kortgesloten. Eén lus bevestigt men zo dicht mogelijk bij de spoel waarop gemeten wordt, de tweede lus zo dicht mogelijk bij de spoel van de griddip-meter. De maximale lengte van de lintkabel bedraagt ongeveer 1 meter. Op deze manier koppelt men inductief op afstand, waarbij de lintkabel als een soort tussenmedium dient. Het zal duidelijk zijn dat de gevoeligheid van deze methode vrij klein is en dat de dip in de meteruitslag niet erg groot zal zijn. Maar in de praktijk blijkt dat men in de meeste gevallen toch goed met deze methode kan werken!

7.24 Griddip-meter voor 375 kHz tot 71 MHz

Meten aan antennekabels
Met een griddip-meter kan men ook de resonantie-eigenschappen van een antennekabel opsporen. De methode is geschetst in figuur 4/7.24-9.

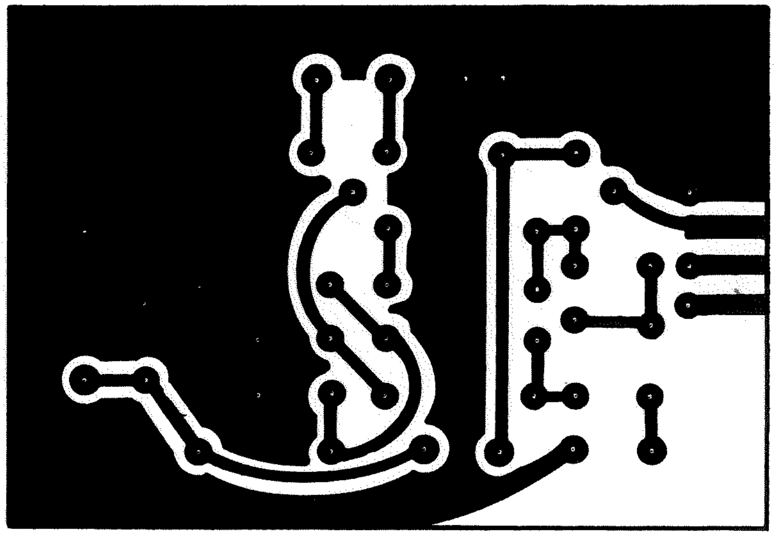


Figuur 4/7.24-9: Het meten aan antennekabels.

De kabel wordt kortgesloten door middel van een lusje en de spoel van de griddipmeter wordt in dit lusje gestoken. Als de frequentie van de oscillator van de griddip-meter in de buurt van de resonantiefrequentie van de kabel komt, zal deze een deel van de oscillator-energie opslorpen, waardoor de meteruitslag een duidelijke "dip" vertoont.

Het meten van HF-spoelen
Hoewel de meeste goede digitale universeelmeters tegenwoordig capaciteiten kunnen meten, zijn er maar weinig universele meters in de handel waarmee men ook spoelen kan meten. Wie geen speciale inductantiemeter heeft kan, via een omweg, met de griddip-meter toch de waarde van HF-spoelen vrij nauwkeurig meten.
Het volstaat aan de HF-spoel een bekende condensator parallel te schakelen. Nadien brengt men de spoel van de griddipmeter in de buurt van de onbekende spoel en stelt de oscillatie-frequentie van de griddip-meter in op die waarde, waarbij de meternaald een duidelijke "dip" vertoont. Een deel van de oscillatorfrequentie wordt nu dus opgeslorpt door de gevormde afgestemde kring en aan de hand van de formule:
$L = 25.330/f_{res}^2.C_p$
kan men de waarde van de spoel berekenen. Deze waarde berekent men in µH als men de waarde van de resonantiefrequentie f_{res} in MHz invoert en de waarde van de parallelcondensator C_p in pF.

7.24 Griddip-meter voor 375 kHz tot 71 MHz



Figuur 4/7.24-3: De print van de schakeling.

4/7.25

Elektronische belasting voor het testen van voedingen

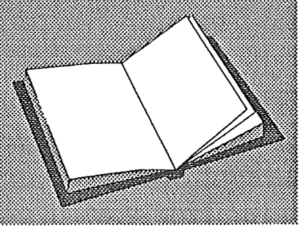
Inleiding

Iedereen die zélf voedingen bouwt (en welke doe-het-zelver bezondigt zich daar niet aan?) wil natuurlijk ook wel eens testen hoe goed of slecht die eigen creatie is. Even een digitale voltmeter op de uitgang zetten en de uitgangsspanning meten zonder en met zware weerstand tussen de uitgangen geeft maar een beperkt inzicht in de kwaliteit van een voeding. Voedingen krijgen het namelijk het benauwdst als zij met een snel wisselende stroom belast worden. Dan gaan allerlei eigenschappen zoals responstijd, hersteltijd, wisselspanningsimpedantie en stabiliteit een zware rol spelen. Om een voeding écht te testen moet men gebruik maken van een elektronische belasting. Een elektronisch regelbare weerstand, die over een groot bereik instelbaar is en waarmee men bovendien wisselstroombelastingen kan simuleren. De in dit hoofdstuk beschreven schakeling voldoet aan die eisen. De elektronische "weerstand" kan aangesloten worden op een spanning tussen 0 V en 20 V en kan stromen verwerken tot 10 A. Het maximaal continu vermogen dat in de "weerstand" gedissipeerd kan worden bedraagt 30 W. De schakeling is in te stellen als constante stroomsink, waarbij de stroom die uit de te testen voeding wordt opgenomen met behulp van een potentiometer is in te stellen. Men kan echter omschakelen naar "ohmse weerstand", waarbij de belasting zich net als een ordinaire weerstand gedraagt. Als de uitgangsspanning van de testvoeding stijgt zal ook de opgenomen stroom toenemen, een en ander bepaald door de wet van Ohm. Ook nu kan men de waarde van deze "weerstand" met een potentiometer instellen. Tot slot is impulsbedrijf mogelijk. De elektronische belasting kan gepulst worden met een ingebouwde pulsgenerator met een frequentiebereik van 10 Hz tot 10 kHz. De voeding schakelt dan steeds om van nullast tot een belasting die door middel van een potentiometer is in te stellen. Een uitzonderlijke zware test voor iedere voeding, maar wél een test waar de kwaliteit van het ontwerp wel of niet door bewezen kan worden.

Het blokschema

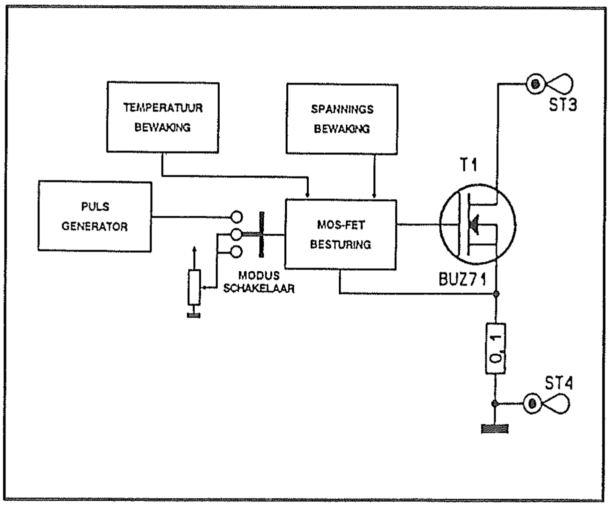
Het blokschema van de elektronische belasting is getekend in figuur 4/7.25-1. De eigenlijke belastingstrap wordt gevormd

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/3.9
Hoofdstuk 3/8.10.7
Hoofdstuk 3/12.3
Hoofdstuk 3/14.9
Hoofdstuk 4/13.7



7.25 Elektronische belasting voor het testen van voedingen

door de serieschakeling van een MOS-FET T1 en een kleine weerstand van 0,1 Ω. Deze serieschakeling wordt via de klemmen ST3 en ST4 aangesloten op de te testen voeding. De MOS-FET besturing meet de spanning over de kleine weerstand en vergelijkt deze met een ingangssignaal. Aan de hand van deze vergelijking wordt de gate van de MOS-FET gestuurd, zodat dit onderdeel min of meer in geleiding wordt gestuurd en de te testen voeding met een bepaalde stroom belast wordt. Door nu een digitale voltmeter én een oscilloscoop op de uitgang van de voeding te hangen kan men zowel het statisch gedrag (voltmeter) als het dynamisch gedrag (oscilloscoop) van de voeding beoordelen.



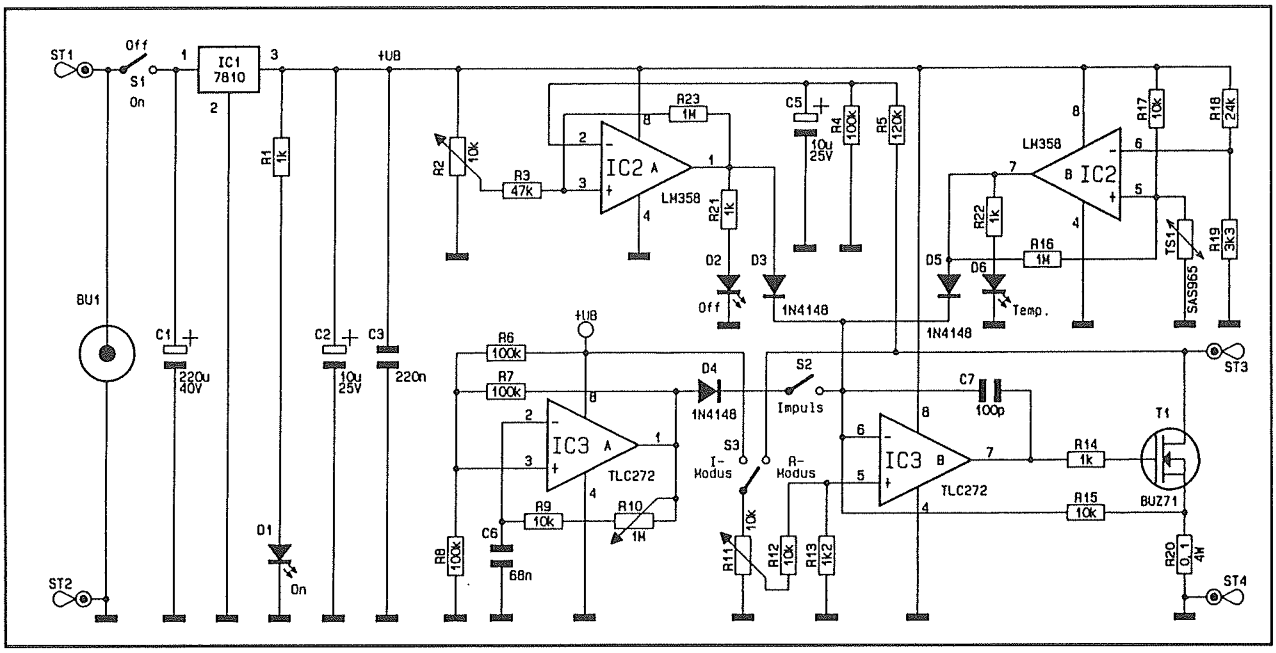
Figuur 4/7.25-1: Het blokschema van de elektronische belasting.

De ingang van de MOS-FET besturing wordt gestuurd uit een schakelaar. Hiermee kan men de functie van de elektronische belasting selecteren. In de modus "constante stroombron" wordt de besturing gevoed door een potentiometer die aangesloten is op een stabiele gelijkspanning. Het systeem zorgt er nu voor dat de spanning over de weerstand van 0,1 Ω gelijk wordt aan de loperspanning, zodat de schakeling een constante met de potentiometer in te stellen stroom uit de voeding trekt. In de tweede modus "ohmse weerstand" wordt de besturing via dezelfde potentiometer gevoed uit de uitgangsspanning van de voeding. Ook nu zal de schakeling ervoor zorgen dat de spanning over de weerstand gelijk blijft aan de ingangsspanning van het besturingsblok. Hoe hoger men de uitgangsspanning van de voeding instelt, hoe meer stroom er dus door de MOS-FET zal vloeien. Met de potentiometer is de "waarde" van de elektronische ohmse weerstand in te stellen. In de derde en laatste modus "pulsbedrijf" wordt de MOS-FET besturing gevoed uit een pulsgenerator. De voeding wordt pulsvormig belast tussen nullast en een met de potentiometer instelbare maximale piekstroom.

De schakeling is voorzien van twee beveiligingen. De eerste beveiliging meet de temperatuur van de eindtransistor en schakelt de stroom uit als de koelplaat te warm wordt. Deze beveiliging is voorzien van een LED die gaat branden als de temperatuur de kritische grens bereikt heeft. De tweede beveiliging schakelt de stroom uit als de spanning over de uitgangsklemmen beneden een instelbare waarde daalt. Dit is een zeer handige voorziening als men de schakeling bijvoorbeeld gebruikt voor het ontladen van NiCad accu's. Door de potentiometer in te stellen op de spanning bij einde ontlading kan men een accu nooit te ver ontladen. Ook deze beveiliging is voorzien van een LED.

De elektronische belasting kan gevoed worden uit een spanning tussen +12 V en +30 V, die bijvoorbeeld van een goedkope stekervoeding betrokken kan worden.

7.25 Elektronische belasting voor het testen van voedingen



Figuur 4/7.25-2: Het volledig schema van de elektronische belasting.

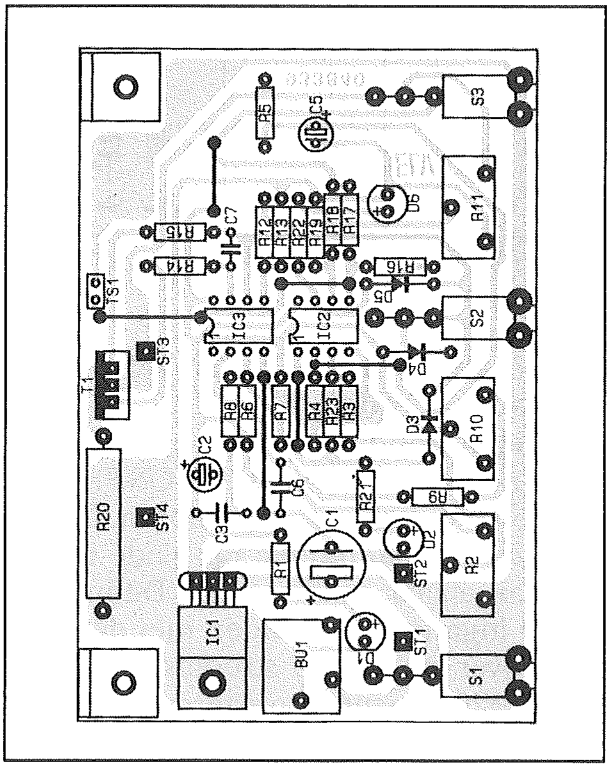
Het schema

Het schema van de elektronische belasting is getekend in figuur 4/7.25-2. De schakeling rond de rechter operationele versterker van IC3 en de MOS-FET T1 vormen de constante stroombron. De op-amp zal de spanningen op beide ingangen aan elkaar gelijk maken. De inverterende ingang is verbonden met de spanning over de kleine stroomsensorweerstand R20. De niet-inverterende ingang ontvangt het stuursignaal. De op-amp stuurt de MOS-FET zodanig in geleiding dat aan de spanningsgelijkheid wordt voldaan. De stroom die uit de voeding betrokken wordt kan dus geregeld worden door de spanning op de niet-inverterende ingang van de op-amp in te stellen. Dat gebeurt met de potentiometer R11. In de "constante stroom"-modus wordt de potentiometer door middel van de schakelaar S3 verbonden met een deel van de gestabiliseerde voedingsspanning van 10 V. De stroom die door de voeding geleverd wordt is dan alleen afhankelijk van de stand van de loper van de potentiometer. In de "ohmse weerstand"-modus wordt de potentiometer middels de schakelaar verbonden met de klem ST3, waar ook de voeding op aangesloten is. Het systeem gaat de stroom dan niet alleen afhankelijk maken van de positie van de loper van de potentiometer, maar ook van de grootte van de door de voeding geleverde spanning. Op deze manier wordt de uitgangsstroom dus bepaald door de wet van Ohm.

De rechthoekgenerator is opgebouwd rond de linker operationele versterker van IC3. De niet-inverterende ingang is door middel van de weerstandsdeler R6, R7 en R8 verbonden met de uitgang van de op-amp. De inverterende ingang gaat via een RC-netwerkje R9, R10 en C6 ook naar de uitgang. Stel dat de uitgang van de op-amp op voedingspotentiaal staat ("H"). De terugkoppelweerstanden naar de niet-inverterende ingang zorgen ervoor dat deze ingang tamelijk positief is. De condensator zal zich uit de hoge uit-

gang opladen tot de spanning op de inverterende ingang gelijk wordt aan de spanning op de niet-inverterende ingang. Op dat moment klapt de uitgang om naar een zeer lage spanning ("L"), zodat de condensator nu weer gaat ontladen. De weerstandsdeler rond de niet-inverterende ingang zorgt er echter voor dat de spanning op deze ingang ook laag wordt. De condensator kan dus ontladen tot de spanning op de inverterende ingang tot deze lage spanning gedaald is. De schakeling klapt dan weer om, de uitgang wordt hoog en ook de spanning op de niet-inverterende ingang gaat weer stijgen. De condensator kan nu weer opladen en een tweede periode van de rechthoek wordt gegenereerd. Sluit men de schakelaar S2, dan zal de rechthoekspanning op de uitgang van de generator via de scheidingsdiode D4 op de inverterende ingang van de rechter op-amp worden aangeboden. Als de rechthoekspanning "H" is zal de stroombron daardoor volledig in sper worden ingesteld, zodat de voeding in nullast werkt. Als de rechthoekspanning "L" is spert de diode D4 en heeft de generator geen invloed. De stroom die dan van de voeding wordt betrokken is alleen afhankelijk van de instelling van de potentiometer R11.

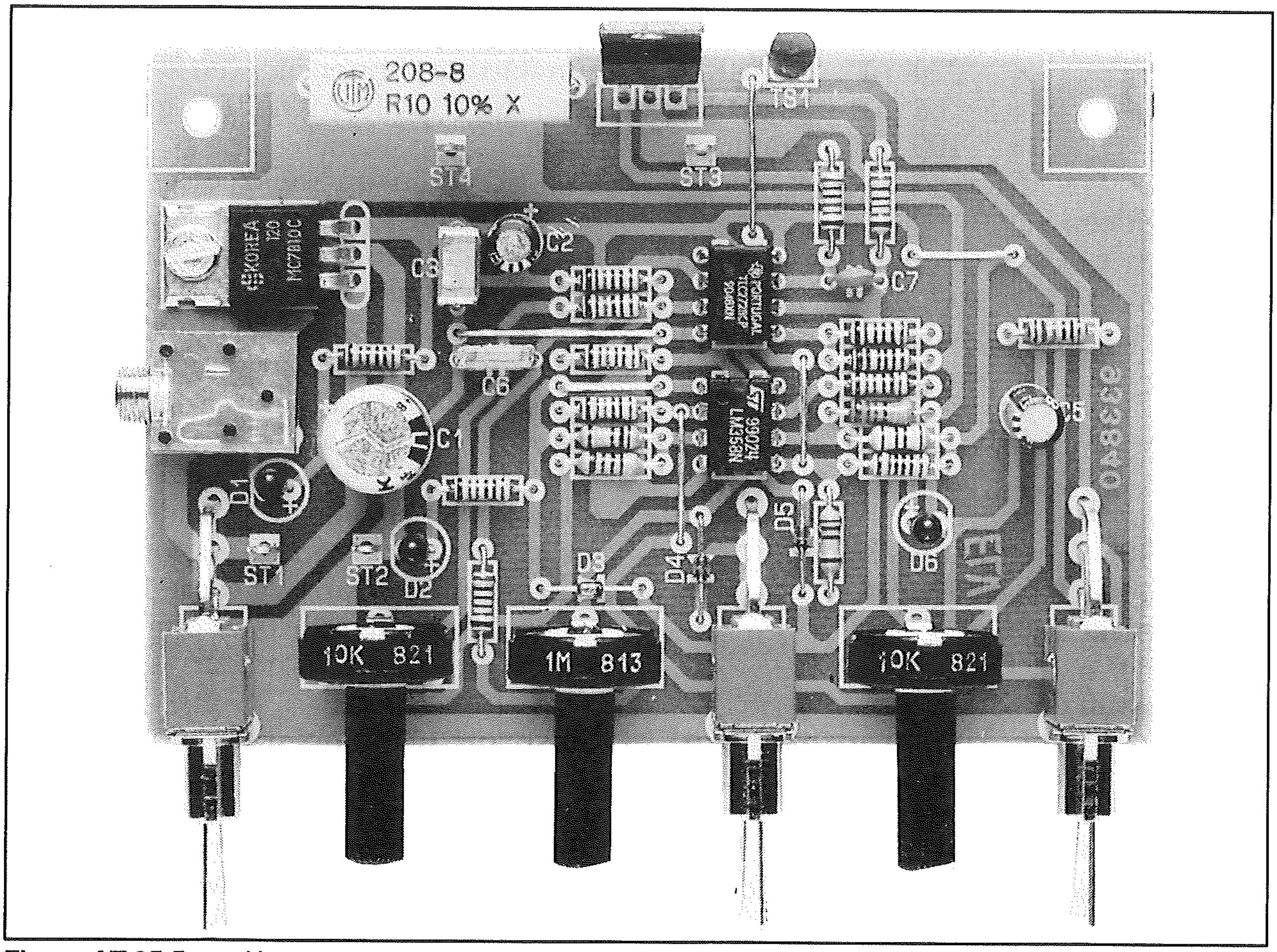
De temperatuurbeveiliging werkt met de temperatuursensor TS1. Deze wordt met warmtegeleidende pasta op de koelplaat van de MOS-FET gekleefd. De rechter op-amp van IC2 is geschakeld als comparator, die de spanning die geleverd wordt door de spanningsdeler R17/TS1 vergelijkt met de referentiespanning die geleverd wordt door de spanningsdeler R18/R19. Wordt de koelplaat warmer dan 100 °C dan wordt de spanning die door de sensor bepaald wordt groter dan de referentie en de uitgang van de op-amp gaat naar "H". Deze hoge spanning stuurt enerzijds de LED D6 en anderzijds via de diode D5 de inverterende ingang van IC3. De sturing voor de MOS-FET valt weg, zodat de uitgangsstroom nul wordt en de eindtransistor kan afkoelen. De weerstand R16 geeft de comparator een kleine hysteresisch, zodat de temperatuur waarop de beveiliging uitschakelt enige tientallen graden lager ligt.



Figuur 4/7.25-4: De componentenopstelling van de elektronische belasting.

De spanningsbeveiliging werkt in feite op dezelfde manier. Via R5 wordt de aangesloten spanning aangelegd aan de inverterende ingang van de linker op-amp van IC2. Deze spanning wordt vergeleken met de spanning die met R2 wordt ingesteld. Wordt de aangesloten spanning lager, dan wordt de uitgang van de op-amp "H" en stuurt op de reeds beschreven manier de stroombron in sper.

7.25 Elektronische belasting voor het testen van voedingen



Figuur 4/7.25-5: Het proto-type van de schakeling.

Ook nu zorgt een weerstand, R23, voor een kleine hysteresisch. Deze hysteresisch heeft tot gevolg dat de spanning wat moet stijgen alvorens de stroombron weer inschakelt. Het "klapperen" van de regeling wordt hierdoor vermeden.
Het linker deel van de schakeling is een klassieke voeding, die uit de ongestabiliseerde spanning van de netstekervoeding een keurige gestabiliseerde spanning van 10 V afleidt.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W:

R1,R14,R21,R22	=	1 kΩ
R3	=	47 kΩ
R4,R6,R7,R8	=	100 kΩ
R5	=	120 kΩ
R9,R12,R15,R17	=	10 kΩ
R13	=	1,2 kΩ
R16,R23	=	1 MΩ
R18	=	24 kΩ
R19	=	3,3 kΩ

Weerstand, draadgewonden, 5 W:

R20	=	0,1 Ω

Potentiometers, lineair, mono:

R2,R11	=	10 kΩ
R10	=	1 MΩ

Condensatoren:

C1	=	220 μF	40 V elco

C2,C5	=	10	µF	25 V elco
C3	=	220	nF	MKH
C6	=	68	nF	MKH
C7	=	100	pF	ceramisch

Halfgeleiders:

D1,D2,D6	=	LED 5 mm rood
D3,D4,D5	=	1N4148
T1	=	BUZ71
IC1	=	7810
IC2	=	LM358
IC3	=	TLC272

Diversen:

1 x SAA965 temperatuursensor
3 x tuimelschakelaar 1XOM
1 x koelplaat SK88

De bouw van de schakeling

Alle onderdelen kunnen gemonteerd worden op het printje van figuur 4/7.25-3, met de componentenopstelling van figuur 4/7.25-4 als richtlijn. Aan de hand van deze tekening en de duidelijke foto van figuur 4/7.25-5 zal het bestukken van de print geen problemen geven. De zware weerstand, de MOS-FET en de temperatuursensor bevinden zich aan de achterzijde van de print, zodat zij gemakkelijk hun warmte kunnen afgeven aan de koelplaat die op de MOS-FET geschroefd wordt.

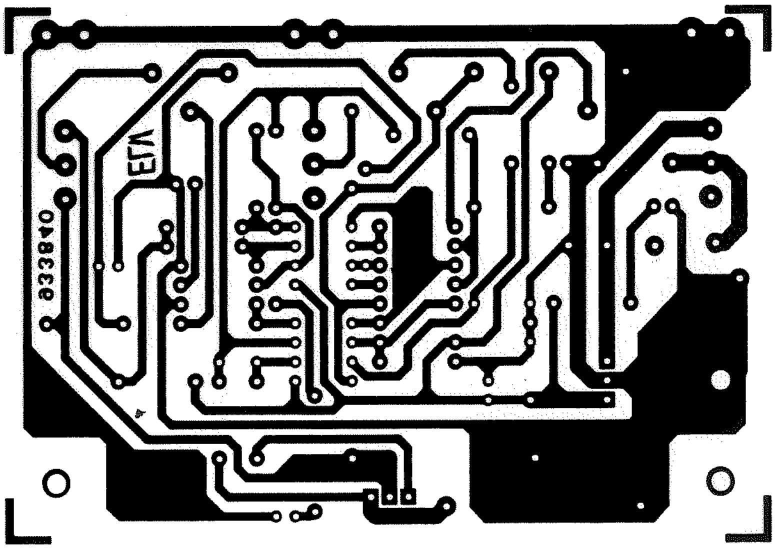
De LED's zijn op willekeurige plaatsen van de print opgenomen. Bouwt men de schakeling in een kastje in, dan kunnen de LED's het best boven de bedieningselementen die iets met de functie van de LED's te maken hebben gemonteerd worden en door middel van zes draadjes met de print verbonden.

Bouwpakket informatie

Als extra service aan de nabouwers van deze schakeling kan nog vermeld worden dat deze elektronische belasting in diverse onderdelenzaken leverbaar is als compleet bouwpakket.

De samenstelling van dit bouwpakket, inclusief print met opdruk, wordt verzorgd door de firma Binell B.V., Postbus 83, 7440 AB Nijverdal, telefoon 05486-17475, fax 05486-12678. Het bouwpakket wordt geleverd onder de bestelcode 14.009. Op het genoemde adres kan men alle nodige informatie krijgen over prijzen en verkoopadressen.

7.25 Elektronische belasting voor het testen van voedingen

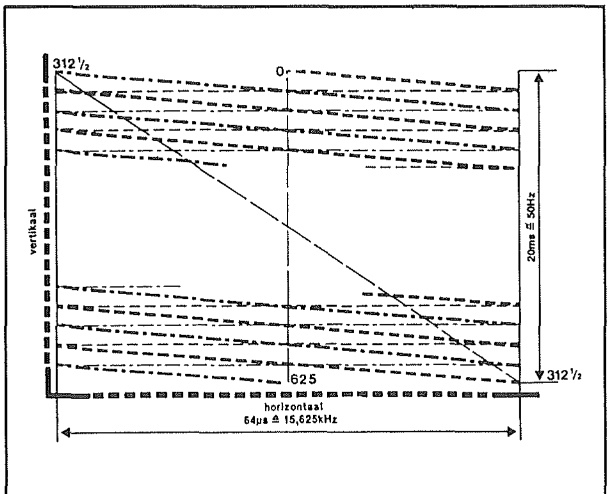


Figuur 4/7.25-3: De print van de schakeling.

4/7.26

Videolijn selector met triggeruitgang voor oscilloscoop

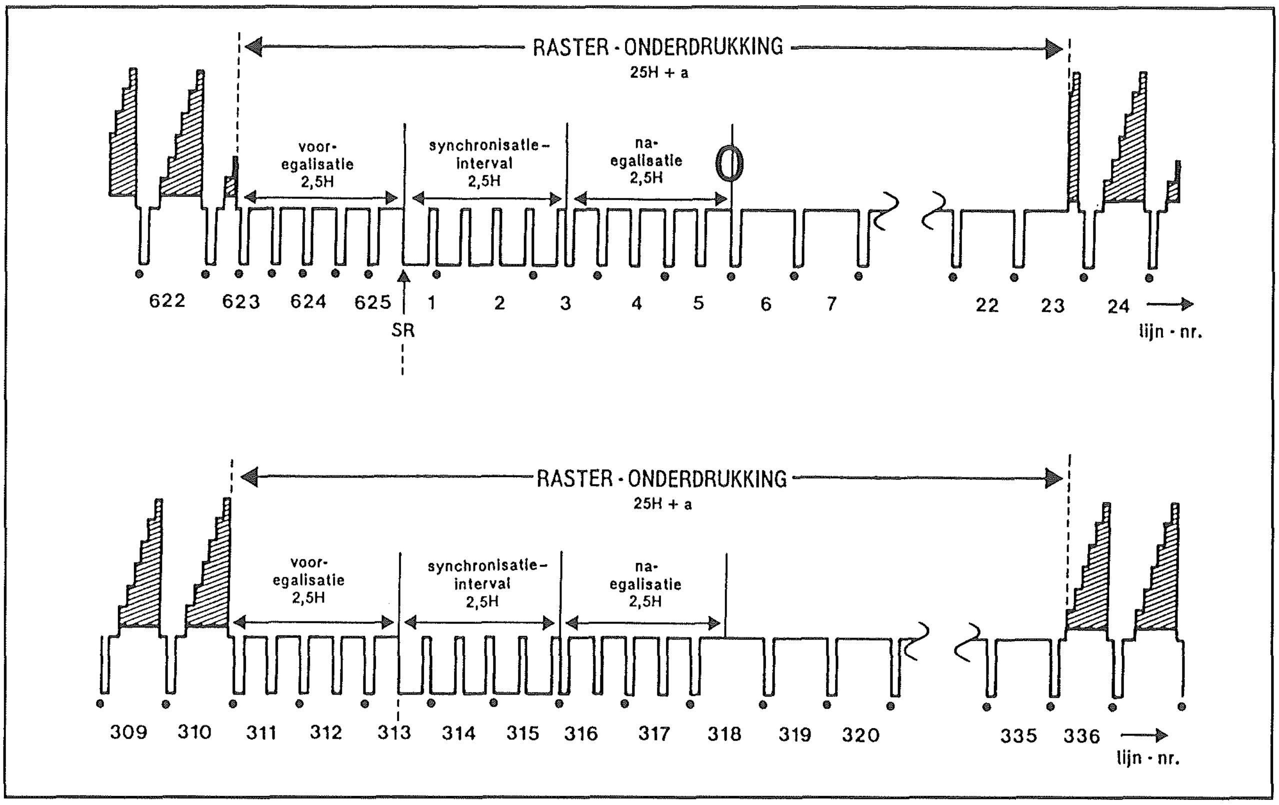
Achtergrond-informatie
Naast de beeldinformatie bevat het videosignaal, dat door een TV-zender wordt uitgezonden, nog heel wat nuttige informatie. Deze informatie zit verborgen in de lijnen die tijdens de overgang van het eerste naar het tweede half beeld wel worden uitgezonden, maar waarbij de elektronenspot in de beeldbuis donker wordt gestuurd. Zoals bekend werkt het TV-systeem volgens de CCIR-norm, waarbij één volledig beeld bestaat uit twee halve beelden die ieder 312,5 lijnen bevatten. Dit is voorgesteld in figuur 4/7.26-1.
Er worden vijftig van dergelijke halve beelden per seconde uitgezonden. Hieruit kan men berekenen dat de tijdsduur van één lijn gelijk is aan 64 µs, hetgeen overeen komt met een lijnfrequentie van 15.625 Hz. Van deze 64 µs wordt slechts 52 µs gebruikt voor de werkelijke lijninformatie. De rest van de lijntijd word gebruikt voor het versturen van de lijnsynchronisatie impuls, de kleurenburst en de zwartreferentie voor het instellen van de intensiteit van het beeld.
Van de 625 lijnen die per seconde worden verzonden worden er ongeveer 50 niet gebruikt voor de eigenlijke beeldinformatie. Als de elektronenspot aan de onderzijde van het beeldscherm is aangekomen (de laatste lijn van een half beeld) moet de spot weer naar de bovenzijde van de beeldbuis worden gestuurd. Natuurlijk duurt dat een bepaalde tijd. Tijdens deze terugslag van de spot wordt de intensiteit op nul gezet, zodat men niets merkt van de snelle verplaatsing van de spot. Maar het is echter wél noodzakelijk dat intussen lijninformatie wordt uitgezonden.



Figuur 4/7.26-1: De opbouw van één TV-beeld uit twee halve beelden met 312,5 lijnen.

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/8.2.4
Hoofdstuk 3/8.2.5
Hoofdstuk 5/3.1.3
Hoofdstuk 5/3.13
Hoofdstuk 5/4.13

7.26 Videolijn selector met triggeruitgang voor oscilloscoop



Figuur 4/7.26-2: De samenstelling van het videosignaal rond de overgangen van het eerste naar het tweede halve beeld.

Zou men dit niet doen, dan zouden de synchronisatieschakelingen in de ontvanger in de war geraken, waardoor er synchronisatiefouten zouden kunnen ontstaan. De samenstelling van het videosignaal rond de beeldovergangen is getekend in figuur 4/7.26-2.
In de begintijd van de TV werden deze vijftig lijnen alleen maar uitgezonden vanwege de noodzakelijke syncpulsen die zij bevatten, maar er werd helemaal niets nuttigs mee gedaan. Op dit moment zit in die vijftig lijnen echter een ware schat aan informatie verborgen, die zeer nuttig, om niet te zeggen onontbeerlijk is voor iedere TV-technicus.

De verborgen informatie
De informatie die in de vijftig lijnen, die niet voor beeldinformatie worden gebruikt, verborgen zit, is Europees gestandaardiseerd.

- Lijnen 11 tot en met 15
  Bevatten informatie voor teletekst.
- Lijn 16
  Bevat onder andere digitale informatie voor het VPS-systeem, het "Video Programming System" waarmee videorecorders op een welbepaald programma geprogrammeerd kunnen worden. Daarnaast bevat deze lijn nog andere digitale gegevens, die door de omroepmaatschappijen worden gebruikt voor intern gebruik.
- Lijn 17
  Is de eerste video-testlijn die informatie bevat voor het testen van de beeldresolutie en de LF-weergave van een videoversterker.
- Lijn 18

7.26 Videolijn selector met triggeruitgang voor oscilloscoop

Is de tweede video-testlijn, de zogenoemde "multiburst"-lijn die gemoduleerd wordt met bursts met verschillende frequenties.

- Lijnen 20 en 21
  Bevatten informatie voor teletekst.
- Lijn 22
  Is een "lege lijn", die geen informatie bevat en wordt gebruikt voor het beoordelen van het ruisgedrag van een videoversterker.
- Lijnen 324 tot en met 328
  Bevatten teletekst-informatie.
- Lijn 329
  Bevat digitale codes die door diverse omroeporganisaties gebruikt worden voor het versturen van instructies naar steunzenders, zoals bijvoorbeeld het RAMSES-II systeem van de ARD in Duitsland.
- Lijn 330
  Is de derde video-testlijn en bevat een trapvormig signaal met kleurendraaggolf.
  Deze lijn kan gebruikt worden voor het testen van de kleurenscheiding in een ontvanger.
- Lijn 331
  Dit is de vierde video-testlijn die een uitgebreide kleurenhulpdraaggolf bevat en gebruikt kan worden voor het opsporen van interferenties tussen chrominantie- en luminantieversterkers in een ontvanger.
- Lijnen 333 en 334
  Bevatten teletekst-informatie.

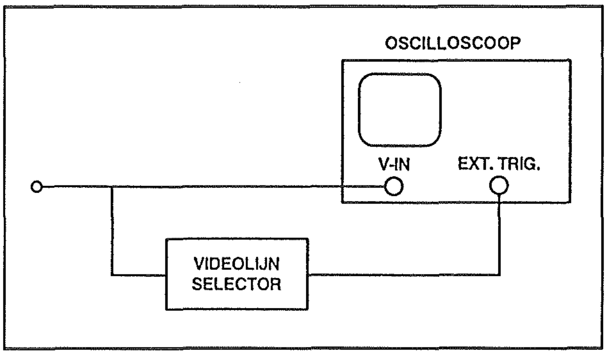
Daarnaast zijn er nog lijnen waarvan niet internationaal is vastgelegd wat er mee gedaan kan worden en die door individuele zenders voor privé doeleinden worden toegepast. Zo zijn er satellietzenders die enige lijnen met lage nummers gebruiken voor het verzenden van Channel-Videodat gegevens.

Kortom, voor iedere ware video-technicus is het een noodzaak het volledige videosignaal lijn per lijn te kunnen bestuderen.

Het synchronisatie probleem

Dat is echter gemakkelijker gezegd dan gedaan! Natuurlijk is iedere moderne oscilloscoop uitstekend in staat om te triggeren op de lijn- of beeldsyncpulsen uit een videosignaal. Maar daar heeft men niet veel aan als men één welbepaalde lijn in beeld wil krijgen. Als men op de beeldsyncpulsen triggert, krijgt men met enige goede wil de eerste lijnen in beeld. Triggert men op de lijnen, dan stelt men vast dat de lijnsyncpulsen netjes links in beeld verschijnen, maar dat de informatie van alle lijnen over elkaar heen op het beeld wordt geschreven. Dat is logisch, want de scoop triggert op de eerste syncpuls die in het videosignaal verschijnt nadat één lijn op het beeldscherm van het meetapparaat is geschreven. Het is, zelfs met dure oscilloscopen met dubbele tijdbasis, nauwelijks mogelijk alleen een welbepaalde lijn in beeld te krijgen.
Het selecteren van een welbepaalde lijn is alleen mogelijk met behulp van een eenvoudig extra apparaatje, een videolijn selector. Dit apparaatje ontvangt het videosignaal, telt de per seconde uitgezonden lijnpulsen en stuurt na een welbepaald aantal ontvangen lijnpulsen een signaal naar de externe triggeringang van de oscilloscoop. De oscilloscoop start op dat moment met het schrijven van een beeld en het volstaat de tijdbasis op de geschikte snelheid in te stellen om netjes één lijn van het volledige videobeeld op het scherm te schrijven.
De in dit hoofdstuk beschreven schakeling bezit zes drukknopjes en een driedecaden display, waarmee men het nummer van de lijn die men op het scherm van

de scoop wil zien kan instellen. Het werken met het apparaatje is dus uiterst eenvoudig. De meetopstelling is getekend in figuur 4/7.26-3.

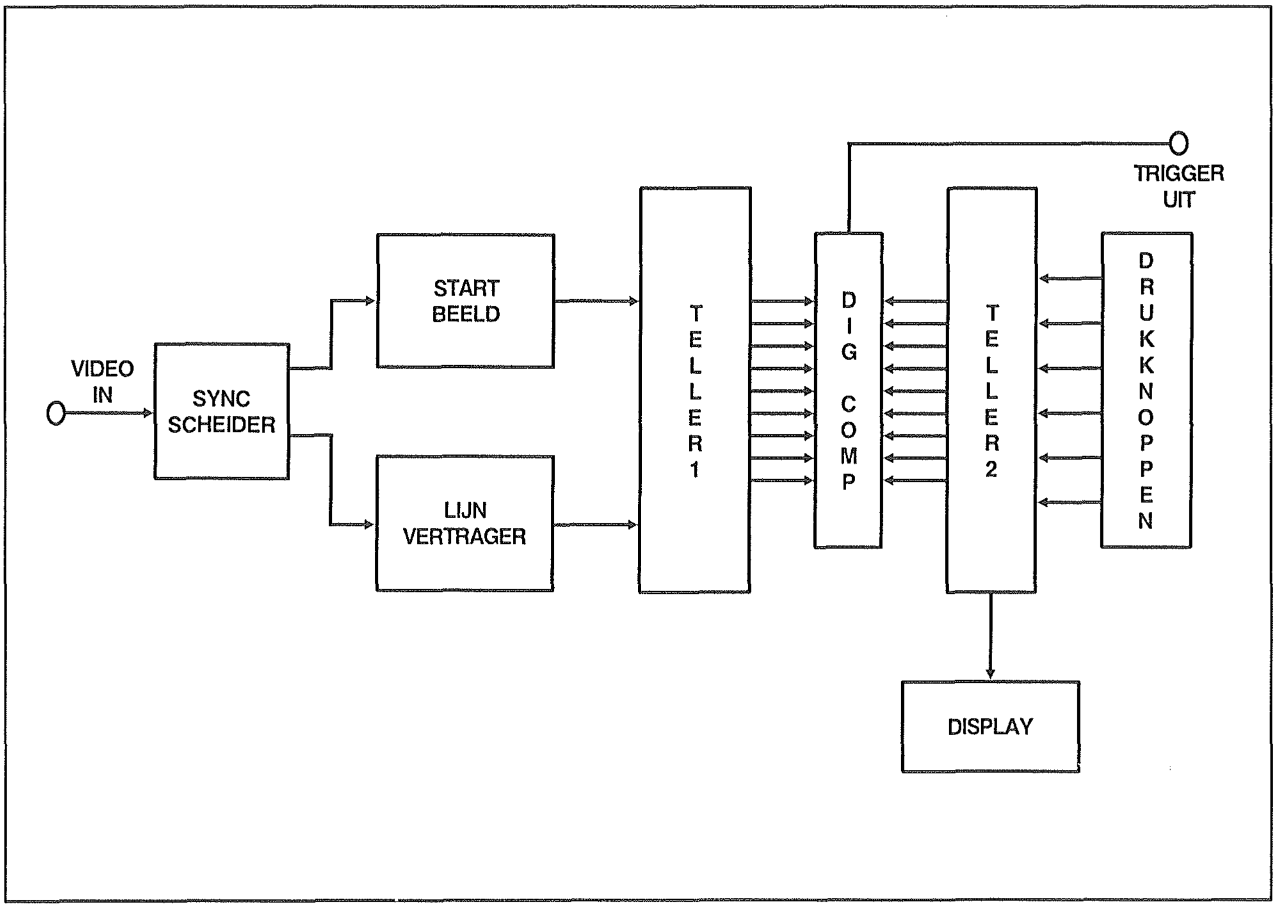


Figuur 4/7.26-3: Het werken met de videolijn selector.

Het videosignaal wordt aangesloten op de vertikale ingang van de oscilloscoop en op de ingang van de videolijn selector. De uitgang van dit apparaatje gaat naar de externe triggeringang van de oscilloscoop. De tijdbasis wordt ingesteld op externe triggering. Wil men de inhoud van videolijn 331 nauwkeurig bestuderen, dan drukt men op de drukknopjes van de selector tot het display "331" aangeeft. Op het scherm van de scoop verschijnt nu deze ene lijn.

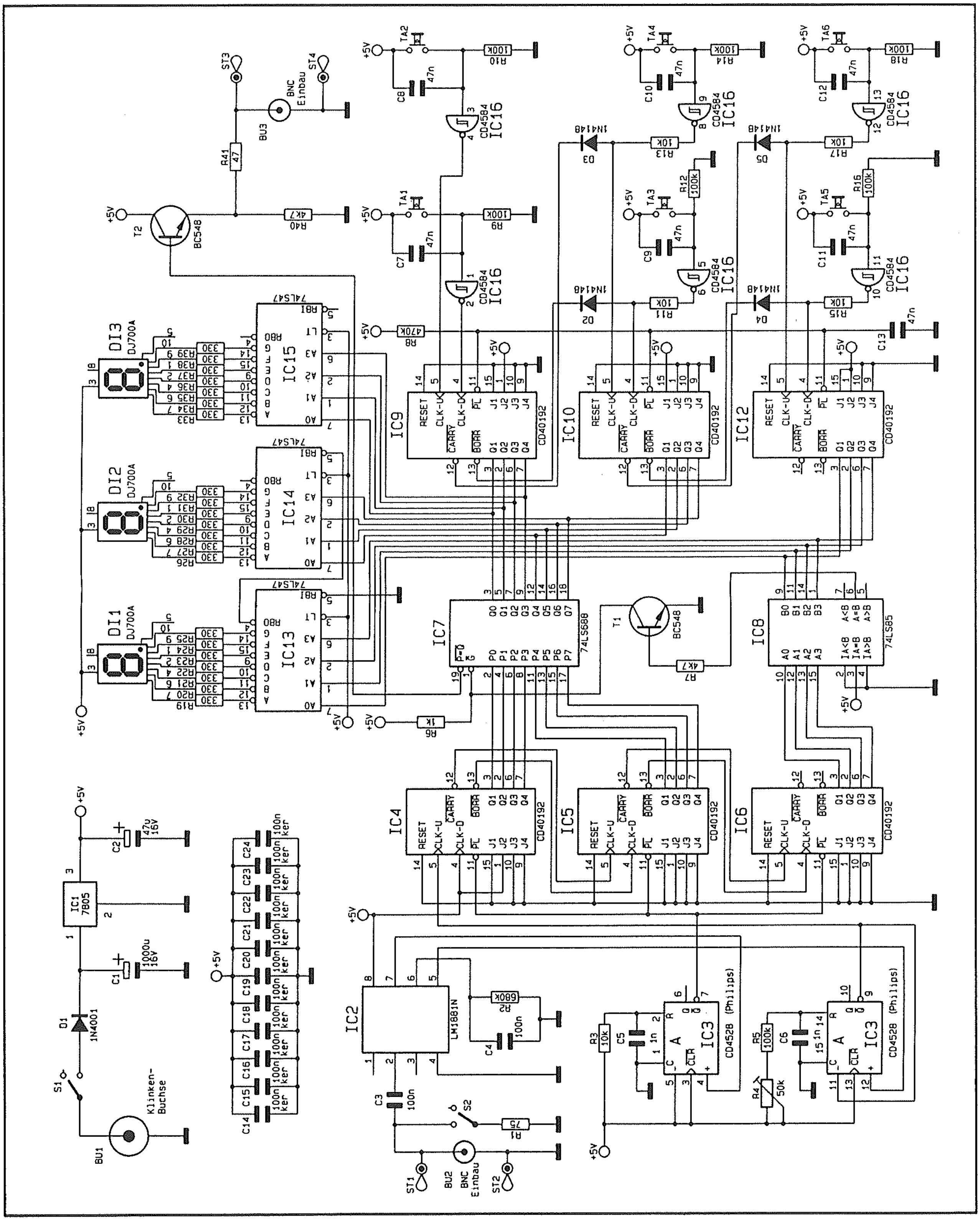
Belangrijke opmerking

Om teleurstellingen te voorkomen moet men zich wel goed realiseren dat de meetopstelling maar één lijn per seconde op het beeld van de scoop schrijft.



Figuur 4/7.26-4: Het blokschema van de videolijn selector.

7.26 Videolijn selector met triggeruitgang voor oscilloscoop



Figuur 4/7.26-5: Het volledig schema van de lijnpuls selector.

7.26 Videolijn selector met triggeruitgang voor oscilloscoop

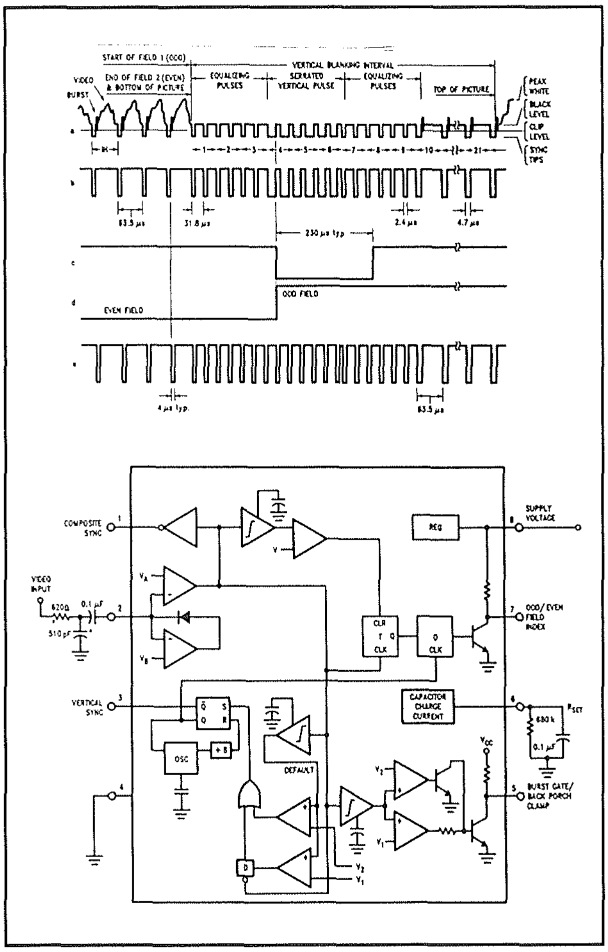
Bij een normale oscilloscoop krijgt men dus geen mooi goed waarneembaar beeld, maar slechts één flitsje per seconde waarin de geselecteerde lijn wordt geschreven.
Het is dus niet zo gemakkelijk om dit beeld goed te bestuderen. De enige oplossing voor dit ongemak is gebruik te maken van een geheugenoscilloscoop, die men eenmalig een beeld laat schrijven.

Het blokschema van de videolijn selector
Het blokschema van het apparaatje is getekend in figuur 4/7.26-4. Hart van de schakeling zijn twee identieke drie decade BCD-tellers TELLER1 en TELLER2. De ene, TELLER1, wordt gestuurd door de lijnsyncpulsen van het videosignaal. De tweede, TELLER2, wordt door middel van de zes drukknopjes op de gewenste lijn ingesteld. Iedere decade wordt gestuurd door twee drukknopjes. De ene telt op, de andere af. De digitale uitgangen van beide tellers gaan naar een DIGITALE COMPARATOR. Deze vergelijkt de BCD-codes op beide set's uitgangen. Als deze aan elkaar gelijk zijn stuurt de comparator een uitgangspuls naar de triggeruitgang van het apparaatje. De BCD-uitgangen van TELLER2 sturen via BCD naar zevensegment decoders drie display's die aangeven welke lijn men met de zes drukknopjes heeft ingesteld.
Uiteraard moet TELLER1 weten wanneer een nieuw beeld begint en wanneer een nieuwe lijn start. Beide gegevens worden afgeleid uit een SYNC SCHEIDER, die een puls genereert als een nieuw beeld begint en een tweede puls opwekt als een nieuwe lijn wordt geschreven. Vanwege de specifieke eigenschappen van het IC dat hiervoor wordt gebruikt is het noodzakelijk de lijnpulsen over één lijn te vertragen. Zou men dit niet doen, dan zou het apparaatje iets te laat een triggerpuls genereren, waardoor de scoop begint met een beeld te schrijven op het moment dat het begin van een lijn reeds voorbij is. Deze vertraging wordt uitgevoerd met een monostabiele multivibrator in het blokje LIJN VERTRAGER. In dit blokje zit het enige afregelelement (een instelpotentiometer) van de volledige schakeling. Door deze vertraging over één lijn is het noodzakelijk de inhoud van TELLER1 op "002" in te stellen op het moment dat een nieuw beeld wordt uitgezonden. Door de vertraging over één lijn zal de schakeling immers maar eerst bij het verschijnen van de tweede lijn van een nieuw beeld een uitgangspuls kunnen genereren. Hiervoor dient het blokje START BEELD waarmee de preset van TELLER1 op "002" wordt ingesteld bij het begin van een nieuw beeld. Men kan het apparaatje dus niet instellen op lijn 001, hetgeen een klein schoonheidsfoutje is. Maar dat is niet zo erg, want lijn 001 bevat toch geen nuttige informatie.

Het volledig schema
Het volledig schema van de videolijn selector is getekend in figuur 4/7.26-5. Het te meten videosignaal wordt aangesloten tussen de klemmen ST1 en ST2. Door middel van de schakelaar S2 kan men de ingangsimpedantie van de schakeling instellen op de gestandaardiseerde waarde van 75 Ω (schakelaar gesloten) of kan men de ingang hoogohmig maken (schakelaar open). Deze laatste optie is van belang als men het videosignaal ergens in een TV-ontvanger afneemt op een punt met een tamelijk hoge eigen impedantie. Het videosignaal moet een top-tot-top waarde hebben van minimaal 0,5 V en maximaal 2,0 V. Het signaal gaat rechtstreeks naar de ingang van een speciaal IC

7.26 Videolijn selector met triggeruitgang voor oscilloscoop

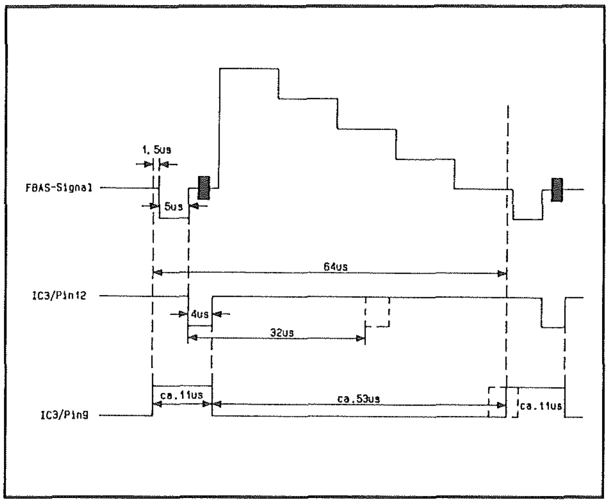
van NatSemi. Dit IC, de LM1881N, bevat alle schakelingen die noodzakelijk zijn om uit een compositie videosignaal de horizontale en vertikale synchronisatiepulsen af te leiden. Bovendien levert dit IC nog een uitgang op het moment dat een nieuw beeld begint. Het intern blokschema van dit IC en de timing van de ingang en de uitgangen zijn samengevat in figuur 4/7.26-6.



Figuur 4/7.26-6: Het intern blokschema en de timing van de LM1881N.

Het "ODD/EVEN FIELD"-signaal, beschikbaar op pen 7, wordt gebruikt voor het initialiseren van de schakeling. Deze uitgang wordt aangesloten op de ingang van de monostabiele multivibrator IC3A. Deze zet de puls van de LM1881N om in een mooi digitaal signaal. Dit signaal, beschikbaar op pen 4 van de MMV, stuurt de $\overline{PL}$-ingangen van de drie BCD-tellers IC4, IC5 en IC6. Met deze ingangen kan men de tellers laden met een bepaalde code, die op de J-ingangen wordt aangeboden. Door J2 van de eenheden teller IC4 op "H" in te stellen en alle overige J-ingangen op "L" te leggen wordt het getal "002" in de tellers geladen. Dit is de stand die ontstaat op het moment dat de schakeling het begin van een nieuwe beeld detecteert.
De lijnsynchronisatie pulsen, beschikbaar op pen 5 van de LM1881N, sturen de triggeringang van een tweede monostabiele multivibrator IC3B. Deze moet met behulp van R4 ingesteld worden op een pulsbreedte van exact 53 µs. De bedoeling hiervan wordt verduidelijkt aan de hand van het timing diagram van figuur 4/7.26-7. De LM1881N wekt op de achterflank van de lijnsynchronisatie puls in het videosignaal een negatief pulsje op met een breedte van 4 µs. De achterflank van dit pulsje wordt gebruikt voor het triggeren van de monostabiele multivibrator. Deze wekt een negatieve puls op. Door de breedte van deze puls in te stellen op 53 µs zal deze puls wegvallen net voordat de synchronisatiepuls van de volgende lijnpuls in het videosignaal verschijnt. De tellers worden opgehoogd door de achterflank van deze puls. Op deze manier wordt de teller dus opgehoogd net voordat de nieuwe lijn wordt geschreven. Op het moment dat de tellers worden opgehoogd wordt de inhoud vergeleken met deze van TELLER2. Zijn beide inhouden aan elkaar gelijk dan zal de DIGITALE COMPARATOR onmiddellijk een uitgangspuls genereren, waarmee de oscilloscoop getriggerd wordt. Het gevolg is dus dat ook

het voorste gedeelte van de lijnpuls keurig in beeld verschijnt.



Figuur 4/7.26-7: De timing van de monostabiele multivibrator rond IC3B.

De uitgang van de monostabiele multivibrator (pen 9 van IC3B) stuurt de CLK-U ingang van teller IC4 (pen 5). De puls op deze ingang zal de inhoud van de teller met een eenheid ophogen. De drie tellers zijn in cascade geschakeld. Daarvoor is het noodzakelijk dat de uitgang $\overline{\text{CARRY}}$ van de eerste teller wordt doorverbonden met de CLK-U ingang van de tweede teller, en zo verder.
Bovendien moet de $\overline{\text{BORR}}$-uitgang worden doorgekoppeld met de CLK-D ingang. TELLER2 is samengesteld uit drie identieke tellers IC9, IC10 en IC12. De $\overline{\text{PL}}$-ingangen van deze IC's krijgen via het netwerkje R8/C13 bij het inschakelen van de voeding even een kort negatief pulsje aangeboden. De tellers worden dan geladen met de BCD-code van het getal 312, het gevolg van de instelling van de J-ingangen op respectievelijk "L-L-H-L", "L-L-L-H" en "L-L-H-H". Bij het inschakelen van het apparaatje verschijnt dus het lijnnummer 312 op de display's. Het instellen van het gewenste lijnnummer gebeurt door smalle pulsjes aan te leggen op de CLK-U en CLK-D ingangen van de tellers. De telingangen worden gestuurd uit de uitgangen van de inverters met Schmitt-trigger ingangen IC16. De ingangen liggen via de weerstanden van 100 kΩ aan de massa. Het gevolg is dat de uitgangen "H" zijn. Drukt men op een van de drukknoppen, dan wordt de ingang even "H" gestuurd. De condensatoren over de drukknoppen verzorgen een eenvoudige, maar effectieve onderdrukking van de schakelaardender. De uitgang van de inverter wordt "L" en de teller wordt met één eenheid opgehoogd of verlaagd. Uiteraard is het de bedoeling dat, bij het door nul tellen van de eenheden teller, de tientallen teller met een eenheid wordt opgehoogd of verlaagd. Vandaar zijn de $\overline{\text{CARRY}}$- en $\overline{\text{BORR}}$-uitgangen van de eenheden teller IC9 met dioden doorverbonden met de CLK-ingangen van de tientallen teller IC10. De dioden D2 en D3 vormen met de weerstanden R11 en R13 eenvoudige poortjes, die ervoor zorgen dat de CLK-ingangen van de tientallen teller zowel gestuurd worden uit de uitgangen van de inverters als uit de $\overline{\text{CARRY}}$ en $\overline{\text{BORR}}$ van de vorige teller. Hetzelfde systeem is uiteraard toegepast bij de verbinding tussen de tientallen en de honderdtallen tellers IC10 en IC12.
De BCD-uitgangen van de tellers IC9, IC10 en IC12 sturen de ingangen van de decoders IC13, IC14 en IC15. Deze zetten de BCD-code om in stuursignalen voor de kathoden van de LED's in de display's. De RBO van IC13 is doorverbonden met de RBI van IC14. Hierdoor worden overbodige nullen onderdrukt. De twee 12 bit brede woorden van de twee tellers worden vergeleken in de digitale comparatoren IC7 en IC8. Als beide codes gelijk zijn

7.26 Videolijn selector met triggeruitgang voor oscilloscoop

worden de "="-uitgangen gestuurd. De "A=B"-uitgang van IC8 werkt via de transistor T1 in op de $\overline{G}$-ingang van IC7. De "$\overline{P=Q}$"-uitgang van IC7 wordt "L" bij codegelijkheid en stuurt de emittervolger T2. Over de emitterweerstand kan het triggersignaal voor de oscilloscoop laagimpedant worden afgetakt. De volledige schakeling kan gevoed worden uit een netstekervoeding met een uitgangsspanning van ongeveer +9 V. Deze spanning wordt door middel van de stabilisator IC1 gereduceerd tot +5 V. De diode D1 beschermt de elektronica tegen het per ongeluk verkeerd om aansluiten van de voeding. Over de print verspreid staan elf ontkoppelcondensatoren van 100 nF, geschakeld tussen de voeding en de massa.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W, 5 %:

R1	=	75	Ω
R2	=	680	kΩ
R3,R11,R13,			
R15,R17	=	10	kΩ
R5,R9,R10,R12,			
R14,R16,R18	=	100	kΩ
R6	=	1	kΩ
R7,R40	=	4,7	kΩ
R8	=	470	kΩ
R19-R39	=	330	Ω
R41	=	47	Ω

Instelpotentiometer, PT10:

R4	=	50	kΩ

Condensatoren:

C1	=	1000	μF	16 V elco
C2	=	47	μF	25 V elco
C3,C4	=	100	nF	MKH
C5,C6	=	1	nF	MKH
C7-C13	=	1	nF	ceramisch
C14-C24	=	100	nF	ceramisch

Halfgeleiders:

D1	=	1N4001
D2,D3,D4,D5	=	1N4148
DI1,DI2,DI3	=	DJ700A
T1,T2	=	BC548
IC1	=	7805
IC2	=	LM1881N
IC3	=	CD4528 (Philips)
IC4,IC5,IC6,		
IC9,IC10,IC12	=	CD40192
IC7	=	74LS688
IC8	=	74LS85
IC13,IC14,IC15	=	74LS47
IC16	=	CD4584

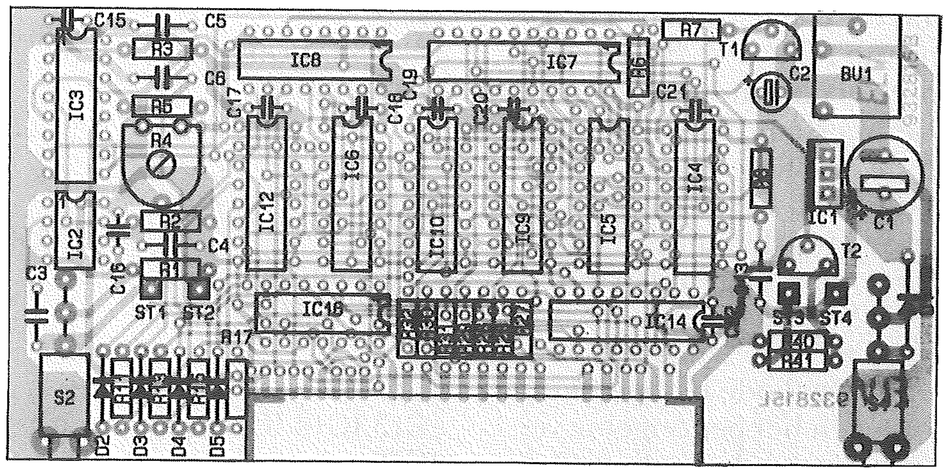
Diversen:

2 x tuimelschakelaars 1 x OM
6 x miniatuur drukschakelaars
2 x BNC chassisdelen
1 x 3,5 mm voedingsconnector
4 x printsoldeerlipje
1 x 8-pens IC-voetje
1 x 14-pens IC-voetje
11 x 16-pens IC-voetje
1 x 20-pens IC-voetje

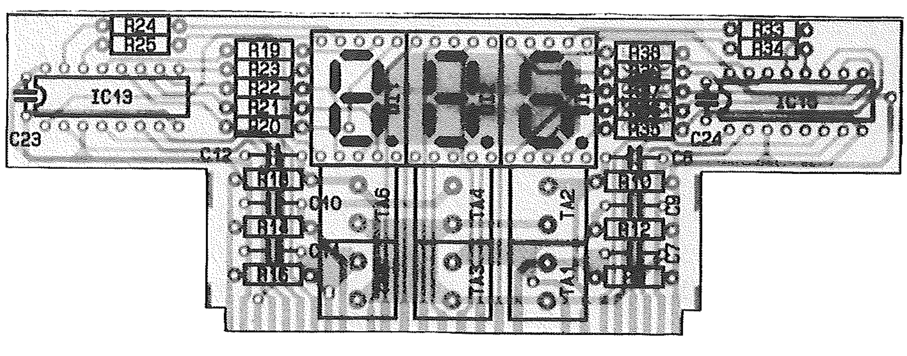
De bouw van de schakeling

Het onderbrengen van een dergelijke schakeling, die vrijwel geheel uit digitale IC's bestaat, op een print is geen sinecure. Vandaar dat de enige oplossing was gebruik te maken van dubbelzijdige printen. Op één print wordt de volledige schakeling ondergebracht, een tweede bevat de display's, de drukschakelaars en twee decoders. De twee printen worden loodrecht op elkaar gemonteerd. Op deze manier kan de gehele schakeling zeer kompakt opgebouwd worden. Het ontwerp van de koperzijde van de twee printen is getekend in figuur 4/7.26-8, het ontwerp van de componentenzijde staat in figuur 4/7.26-9.

7.26 Videolijn selector met triggeruitgang voor oscilloscoop



Figuur 4/7.26-10: De componentenopstelling van de basisprint.

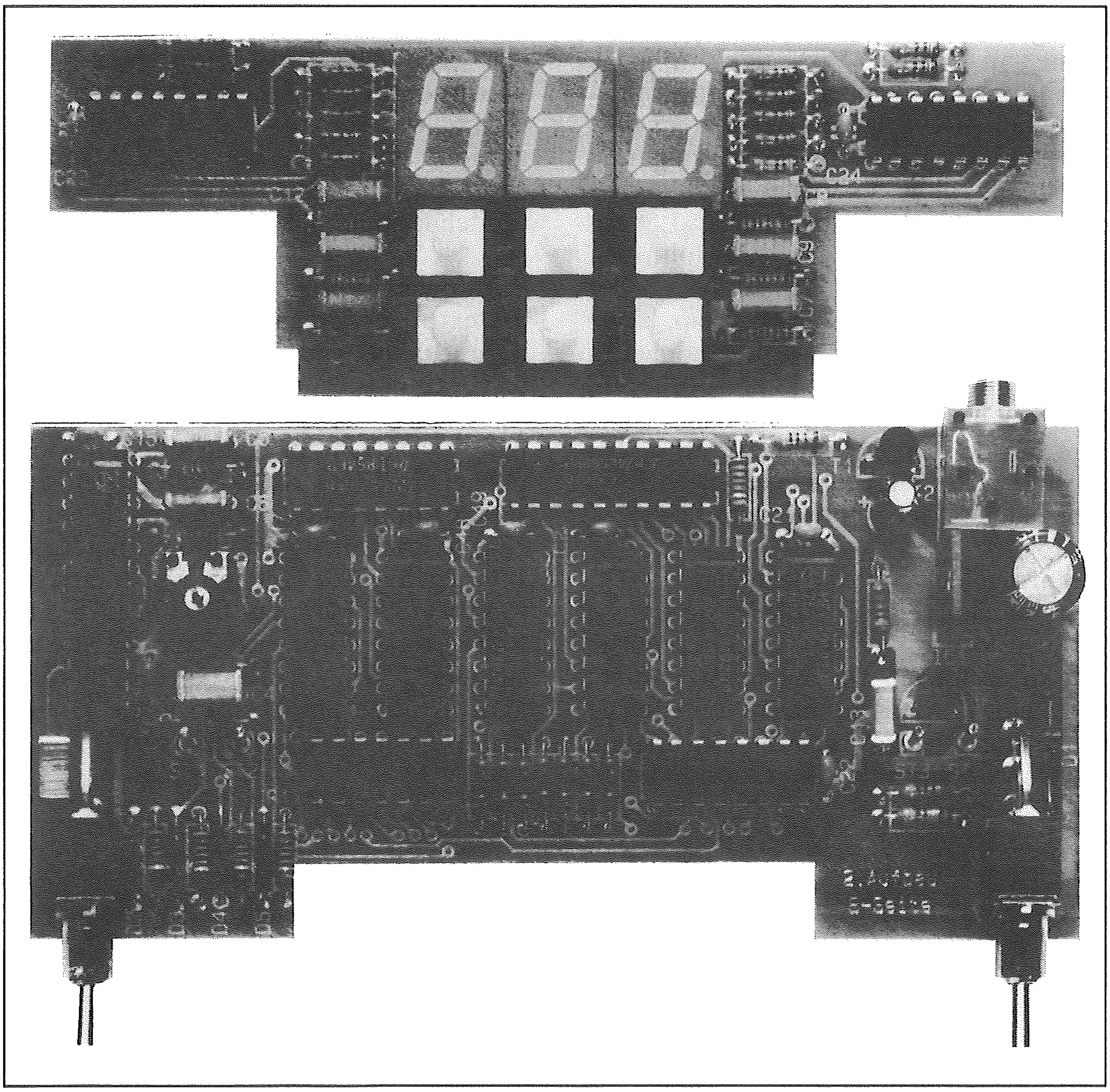


Figuur 4/7.26-11: De componentenopstelling van de uitleesprint.

Figuur 4/7.26-10 geeft de componentenopstelling van de basisprint, figuur 4/7.26-11 die van de uitleesprint.

De montage van beide printen zal aan de hand van de duidelijke foto van figuur 4/7.26-12 geen problemen geven.

7.26 Videolijn selector met triggeruitgang voor oscilloscoop



Figuur 4/7.26-12: De volledig gemonteerde printen.

Alle onderdelen kunnen op de normale manier gemonteerd worden. Alleen de twee tuimelschakelaartjes worden plat op de basisprint gemonteerd, waarbij de aansluitingen tot stand komen met behulp van drie stevige draadjes. Om het geheel stabieler te maken is het aan te bevelen de twee schakelaars met twee-componentenlijm op de basisprint vast te lijmen.

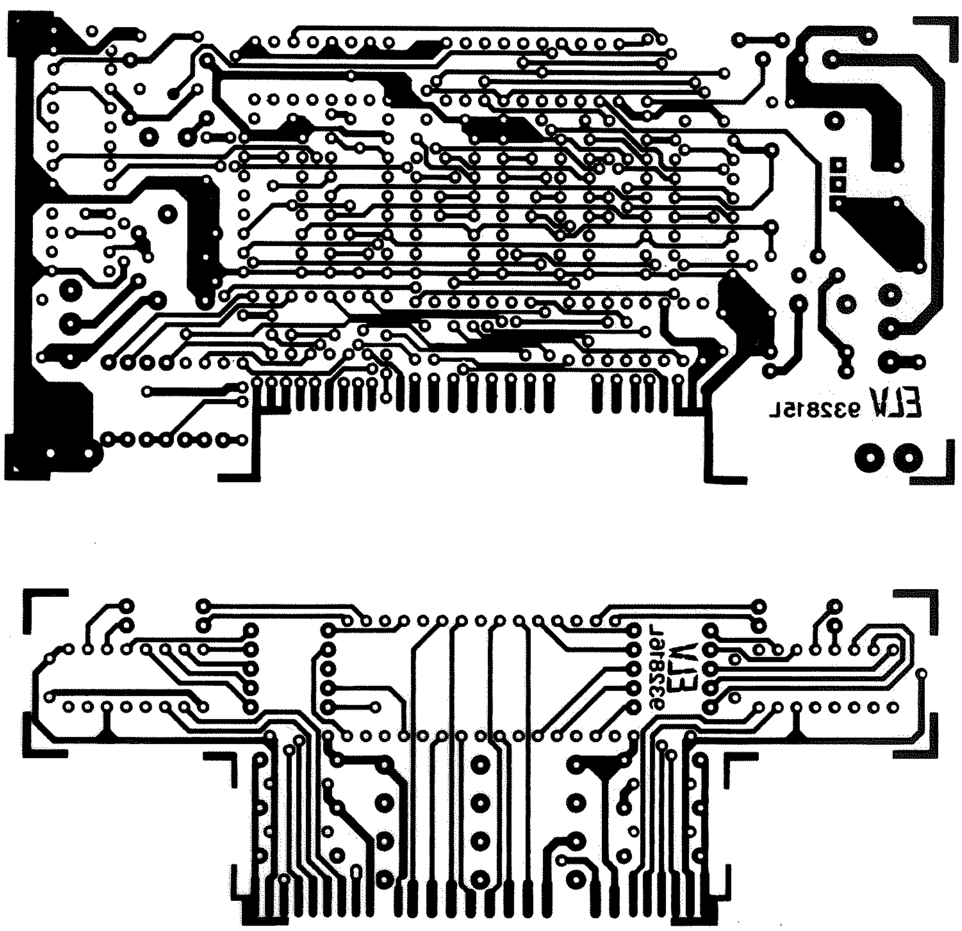
Nadat de bestukking van de beide printen zorgvuldig gecontroleerd is moeten deze loodrecht tegen elkaar bevestigd worden. De displayprint wordt, met de schakelaars onder, in de uitsparing van de basisprint gelegd. Men stelt nu vast dat de 26 koperen aansluitvakjes van beide printen precies in elkaars verlengde staan. De twee printen worden nu loodrecht tegen el-

kaar gesoldeerd door eerst de twee buitenste aansluitvakjes van beide printen te vertinnen en nadien tegen elkaar te solderen. Nadien buigt men het geheel heel voorzichtig onder een hoek van negentig graden en soldeert vervolgens de 24 overige contactvlakken tegen elkaar. Let erg goed op dat hierbij geen kortsluitingen ontstaan!
Het geheel kan nu in een klein kastje worden gemonteerd. Wie het bouwpakket bestelt krijgt een volledig voorbereid kunststof kastje meegeleverd. Na de montage van de printencombinatie in de behuizing moet men alleen de twee BNC chassisdelen met de print verbinden.

Het afregelen van de schakeling
De schakeling en de vertikale ingang van een oscilloscoop worden verbonden met een videosignaal. De oscilloscoop moet ingesteld worden op negatieve externe triggering. Natuurlijk moet de uitgang van de videolijn selector verbonden worden met de externe triggeringang. Men stelt een willekeurig lijnnummer in en observeert het beeld op het scherm. Men verdraait nu de loper van de instelpotentiometer R4 tot ook de voorflank van de lijn, dus de negatieve synchronisatiepuls, duidelijk op het scherm herkenbaar is.

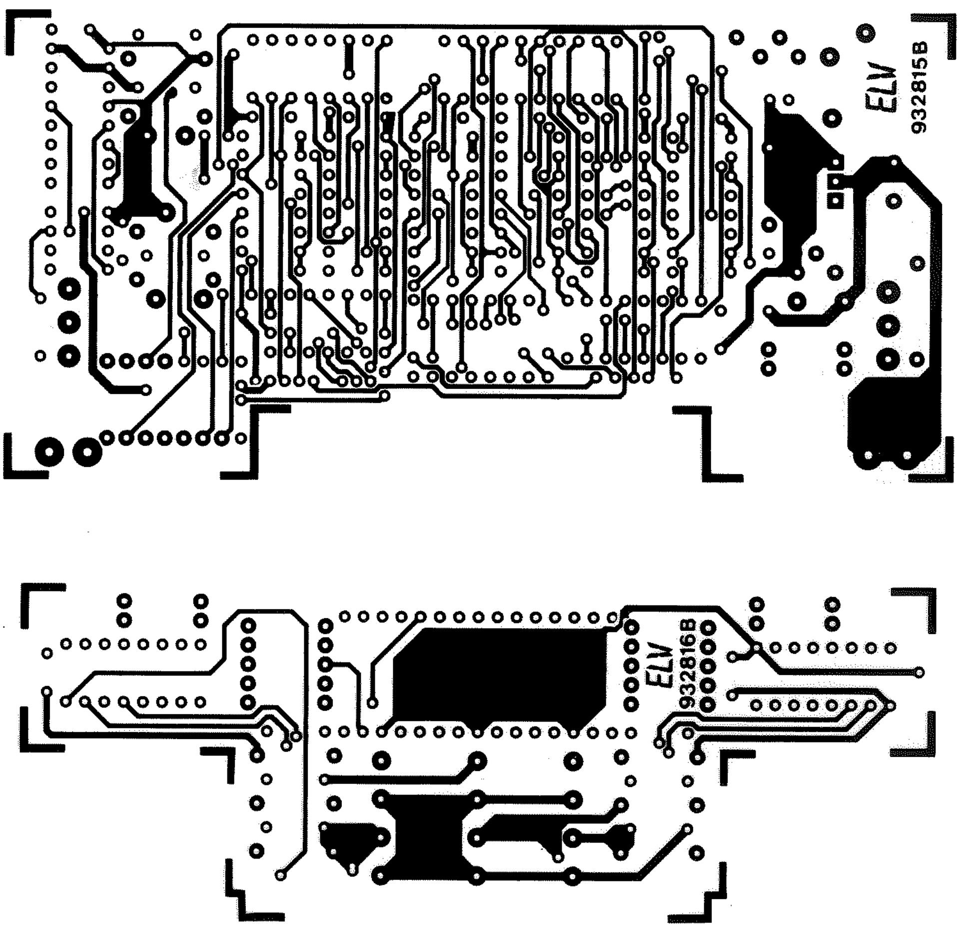
Bouwpakket informatie
Als extra service aan de nabouwers van deze schakeling kan nog vermeld worden dat deze lijnselector in diverse onderdelenzaken leverbaar is als compleet bouwpakket. De samenstelling van dit bouwpakket, inclusief de twee doorgemetaliseerde dubbelzijdige printen en de behuizing, wordt verzorgd door de firma Binell B.V., Postbus 83, 7440 AB Nijverdal, telefoon 05486-17475, fax 05486-12678. Het bouwpakket wordt geleverd onder de bestelcode 12876. Op het genoemde adres kan men alle nodige informatie krijgen over prijzen en verkoopadressen.

7.26 Videolijn selector met triggeruitgang voor oscilloscoop



Figuur 4/7.26-8: De soldeerzijde van beide printen.

7.26 Videolijn selector met triggeruitgang voor oscilloscoop



Figuur 4/7.26-9: De componentenzijde van beide printen.

4/7.27

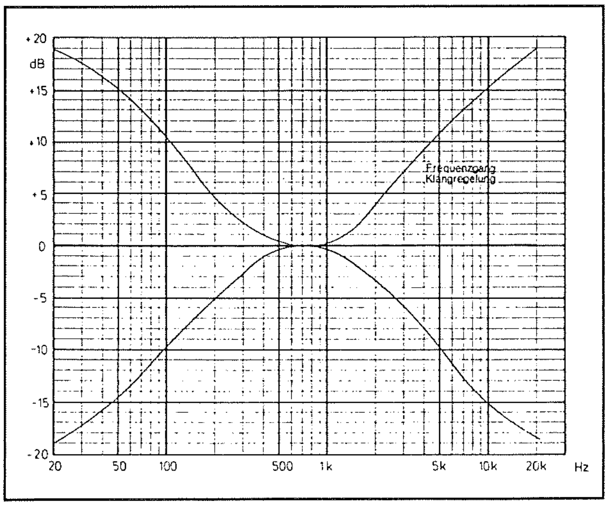
Multiburst LF-generator

Weergavekarakteristieken

Elektronici, die zich gespecialiseerd hebben in LF-techniek, zullen vaak de weergavekarakteristiek van een schakeling moeten meten. Deze karakteristiek is een grafiek, die de versterking van de schakeling voorstelt voor iedere frequentie tussen 20 Hz en 20 kHz. Die versterkingen worden uitgedrukt in dB ten opzichte van een referentie-frequentie, in de meeste gevallen 1 kHz. Een dergelijke weergavekarakteristiek zegt heel veel over de kwaliteit van de geteste schakeling. Als voorbeeld van een dergelijke weergavekarakteristiek is in figuur 4/7.27-1 de grafiek van een toonregeling gegeven.

Uit deze grafiek kan men onmiddellijk afleiden dat de geteste schakeling zeer symmetrisch regelt en inderdaad het gehele bereik van 20 Hz tot 20 kHz regelt.

Het opstellen van een weergavekarakteristiek is een tijdrovende bezigheid. Aan de ingang van de te testen schakeling wordt een sinusgenerator aangesloten, aan de uitgang een breedband wisselspanningsmeter. Men stelt de frequentie van de generator in op 1 kHz en op een bepaalde amplitude. Nu meet men de spanning op de uitgang van de schakeling. Vervolgens stelt men de frequentie in op 20 Hz, zorgt ervoor dat de generator nog steeds dezelfde amplitude aflevert en meet weer de spanning op de uitgang. Men kan nu de verhouding berekenen van beide uitgangsspanningen (1kHz en 20 Hz) en deze verhouding omrekenen naar dB. Deze procedure herhaalt men voor een twintigtal frequenties in de band van 20 Hz tot en met 20 kHz. Al met al een klusje waar men een uurtje mee zoet is!



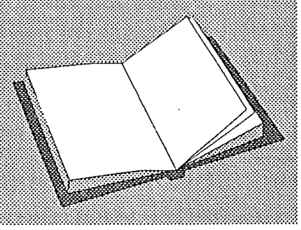
Figuur 4/7.27-1: Een voorbeeldje van een weergavekarakteristiek.

LEES OOK:

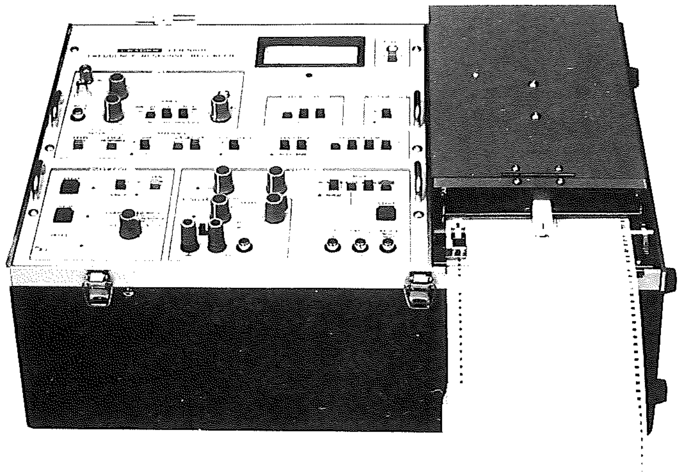
Hoofdstuk 6/5.2

Hoofdstuk 6/6.7

Hoofdstuk 6/6.26



7.27 Multiburst LF-generator



Figuur 4/7.27-2: Een voorbeeld van een "frequency response recorder", in dit geval de LFR-5601 van Leader.

Automatische meetmethoden

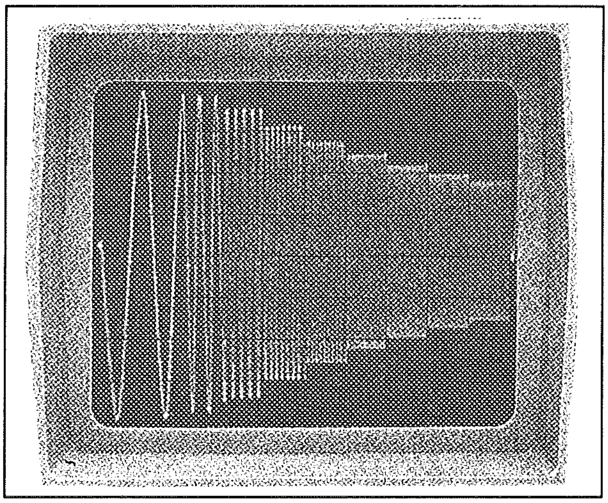
In professionele laboratoria, waar tijd veel geld kost, gebruikt men voor het opstellen van weergavekarakteristieken speciale meetapparatuur. Deze zogenoemde "frequency response recorders", figuur 4/7.27-2 geeft een voorbeeldje, tekenen volledig automatisch in minder dan een minuutje een volledige karakteristiek op een strookje papier.
Het apparaat levert een sinus, waarvan de frequentie langzaam varieert tussen 20 Hz en 20 kHz. Dit signaal wordt aan de ingang van de te meten schakeling aangesloten. Het uitgangssignaal wordt weer aan de recorder toegevoerd. Deze richt het signaal gelijk en voert het door een logaritmische omzetter. Dit uitgangssignaal, nu geijkt in dB, wordt naar de penbesturing van de papierrecorder gevoerd. Het zal duidelijk zijn dat dergelijke prachtige apparaten veel te duur zijn voor hobbygebruik. De in dit hoofdstuk voorgestelde multiburst generator is een goedkoop alternatief voor een frequency recorder, zij het dat het apparaatje enige nadelen heeft.

Multiburst LF-generator

Met een dergelijk apparaat kan men heel snel de weergavekarakteristiek van een versterker, toonregeling, equaliser of andere audioschakeling zichtbaar maken op het scherm van een oscilloscoop. Een multiburst generator wekt een sinusvormig uitgangssignaal op, waarvan de frequentie niet constant is. Op het ritme van een interne klokoscillator wordt de frequentie stapsgewijs gevarieerd tussen bijvoorbeeld 20 Hz en 20 kHz. Een volledige cyclus duurt bijvoorbeeld 100 milliseconde en in die tijd worden 16 verschillende frequenties gegenereerd. Als men dit signaal aan de ingang van een versterker aanlegt en het uitgangssignaal van deze schakeling naar een oscilloscoop stuurt, zal het plaatje dat op het oscilloscoopscherm geschreven wordt alle noodzakelijke informatie geven over de doorlaatband van de versterker. Een voorbeeldje

7.27 Multiburst LF-generator

is getekend in figuur 4/7.27-3. In dit voorbeeld zal de geteste schakeling de hoge frequenties verzwakken. Door nu de verhouding tussen de amplitude van de sinussen in de verschillende burst's op te meten en enige eenvoudige berekeningetjes uit te voeren, kan men de verzwakking of versterking van iedere frequentie in dB opzoeken, zodat een frequentie/amplitude-diagram opgesteld kan worden.



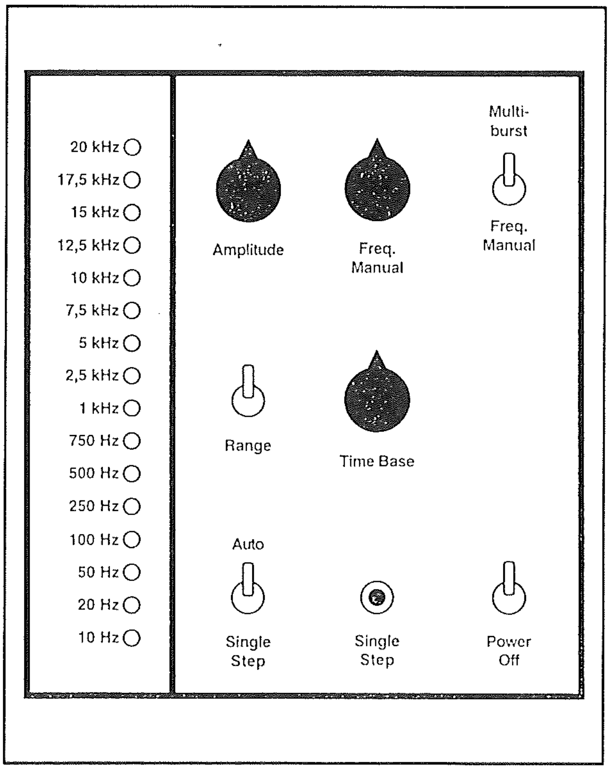
Figuur 4/7.27-3: Een voorbeeld van het uitgangssignaal van de multiburst generator, na verwerking door een LF-schakeling.

Voor- en nadelen

Het zal duidelijk zijn dat de voorgestelde schakeling in principe hetzelfde doet als een frequency recorder, maar dat het systeem een aantal nadelen heeft. Het grootste nadeel is dat het beeld op het scherm van de scoop niet netjes stilstaat, zoals in het plaatje van figuur 4/7.27-3 wordt gesuggereerd. Als één cyclus 100 milliseconde duurt, zal men de tijdbasis van de scoop zo moeten instellen dat de spot in dezelfde tijd één beeld op het scherm schrijft. Er worden dan maximaal tien beeldjes per seconde geschreven, zodat het beeld op een vervelende manier flikkert. Het uitlezen van de resultaten is dus een beetje lastig. Een tweede nadeel is dat de schakeling lineair werkt, dus dat de meetresultaten op het scherm niet in dB geijkt zijn. Men zal dus met de hand (of het rekenmachientje) steeds de omzetting naar dB moeten berekenen. Het grote voordeel van het apparaat is echter dat het relatief goedkoop te bouwen is en dat het toch heel goed bruikbaar is om snel een indruk te krijgen van de weergavekarakteristiek van een zélf ontworpen schakeling.

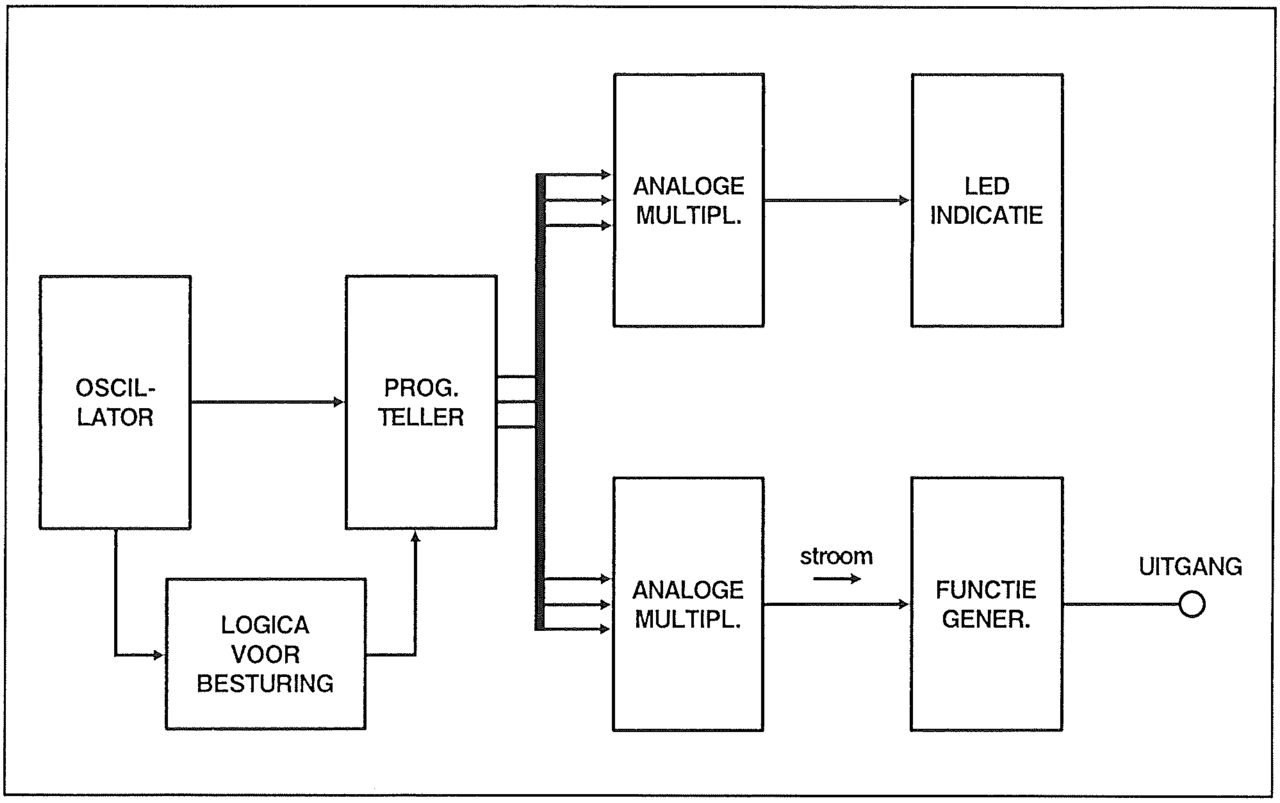
De specificaties

Het in dit hoofdstuk beschreven apparaatje heeft onderstaande specificaties. De specificaties en mogelijkheden kunnen het best worden begrepen aan de hand van de lay-out van het frontplaatje, getekend in figuur 4/7.27-4.



Figuur 4/7.27-4: De lay-out van het frontplaatje van de multiburst LF-generator.

7.27 Multiburst LF-generator



Figuur 4/7.27-5: Het blokschema van de multiburst LF-generator.

- Frequentiebereik:
  Zestien frequenties in het bereik van 10 Hz tot 20 kHz, die in twee overlappende bereiken kunnen worden doorlopen. Het eerste bereik levert tien frequenties van 10 Hz tot 5 kHz, het tweede bereik tien frequenties van 750 Hz tot 20 kHz. Deze bereiken zijn in te stellen door middel van de tuimelschakelaar "Range".
- Cyclustijd:
  De cyclustijd kan door middel van de potentiometer "Time Base" ingesteld worden.
  Er zijn twee bereiken. Bij het scannen van de hoogste frequenties kan men instellen tussen een totale cyclustijd van 10 ms en 20 ms. In het laagste bereik wordt gewerkt met een cyclustijd van 10 tot 20 seconden. Deze lange tijd is noodzakelijk omdat het anders niet mogelijk is de laagste frequentie van 10 Hz goed weer te geven.
- Single step:
  Door middel van een tuimelschakelaar kan men kiezen tussen "Auto" of "Single Step".
  In de laatstgenoemde stand kan men met de drukknop "Single Step" de uitgangsfrequentie van het apparaatje instellen op een van de zestien mogelijke waarden. De zestien LED-indicatoren geven aan welke frequentie wordt gegenereerd.
- Handinstelling:
  Met behulp van een tuimelschakelaar kan men kiezen tussen "Multiburst" en "Freq. Manual".
  In het laatste geval kan men met de potentiometer "Freq. Manual" de uitgangsfrequentie met de hand instellen tussen 10 Hz en 20 kHz.

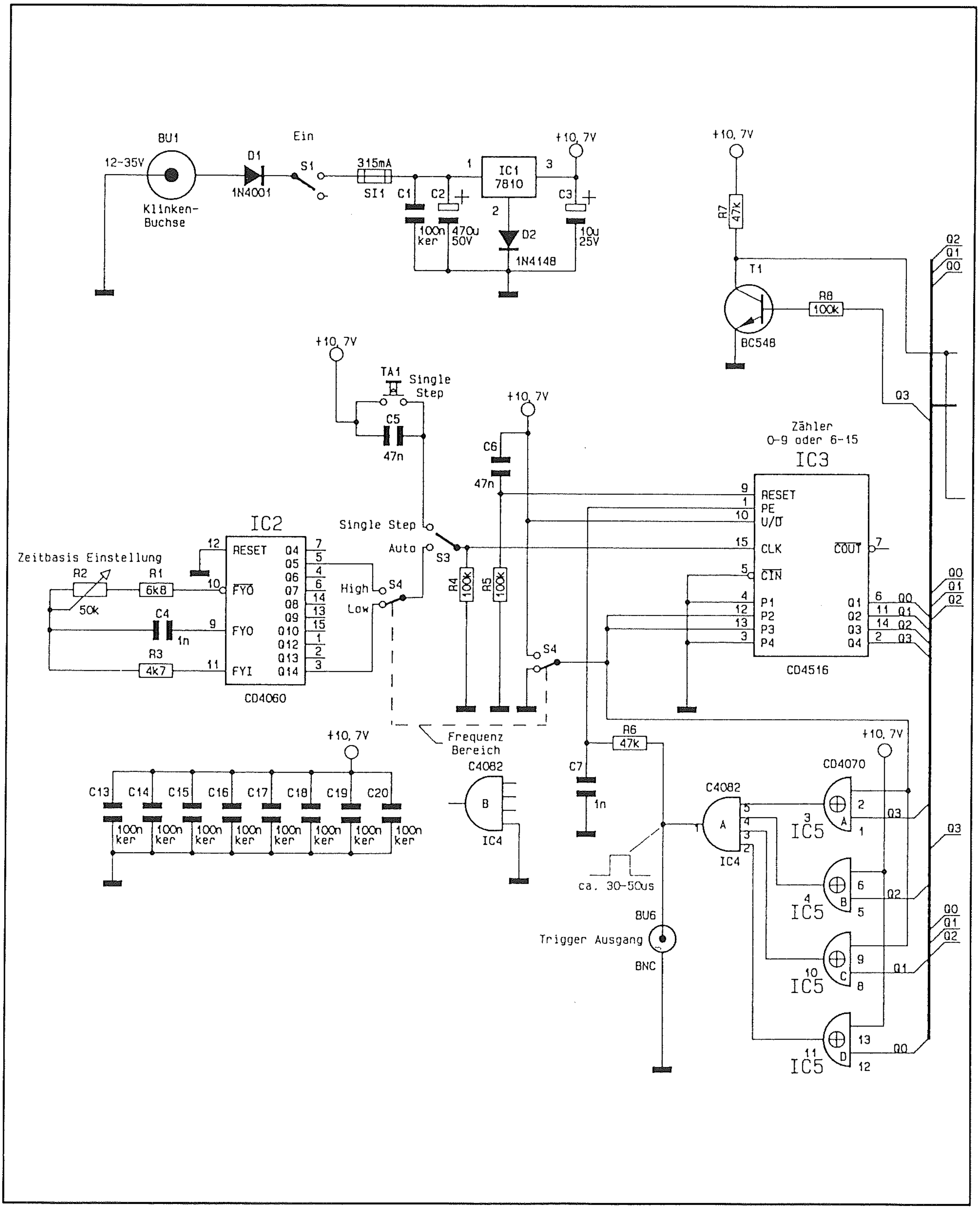
7.27 Multiburst LF-generator

- Amplitude:
  Met behulp van de potentiometer "Amplitude" kan men de grootte van het uitgangssignaal instellen tussen nul en de maximale waarde. Deze waarde is afhankelijk van de nauwkeurigheid, waarmee men de vervorming van het uitgangssignaal heeft afgeregeld, maar is in ieder geval groot genoeg om zelfs de meest ongevoelige eindversterkers rechtstreeks vol uit te sturen.

Het blokschema
Het blokschema van de multiburst LF-generator is getekend in figuur 4/7.27-5. Hart van de schakeling is de functiegenerator. Er wordt gebruik gemaakt van een XR2206, een oude vertrouwde, die nog steeds de beste oplossing biedt voor het genereren van een stroomgestuurde sinus.
De schakeling wordt gestuurd door middel van een stroom I, die de waarde van de uitgangsfrequentie vast legt. De gehele schakeling wordt gestuurd door een oscillator, links in het schema. Deze schakeling genereert de timing van het systeem, dus de snelheid waarmee van de ene naar de volgende frequentie wordt overgeschakeld. De oscillator stuurt een blok logica, dat verantwoordelijk is voor de bediening van het apparaat. Hier wordt onder andere ingesteld welk bereik wordt doorlopen en wordt omgeschakeld tussen automatische of handbediening.
Beide blokken besturen een programmeerbare teller. Deze zal, bij het begin van een cyclus naar een bepaalde voorgeprogrammeerde binaire stand springen. Welke stand dat is, is afhankelijk van het bereik dat men heeft ingesteld. Vanuit deze stand wordt de inhoud van de teller telkens bij een uitgangspuls van de oscillator één teleenheid opgehoogd. De binaire uitgangen van de teller sturen twee analoge multiplexers. De ene stuurt de zestien LED's van de uitlezing, de tweede stuurt via weerstanden zestien verschillende stroompjes naar de functiegenerator.

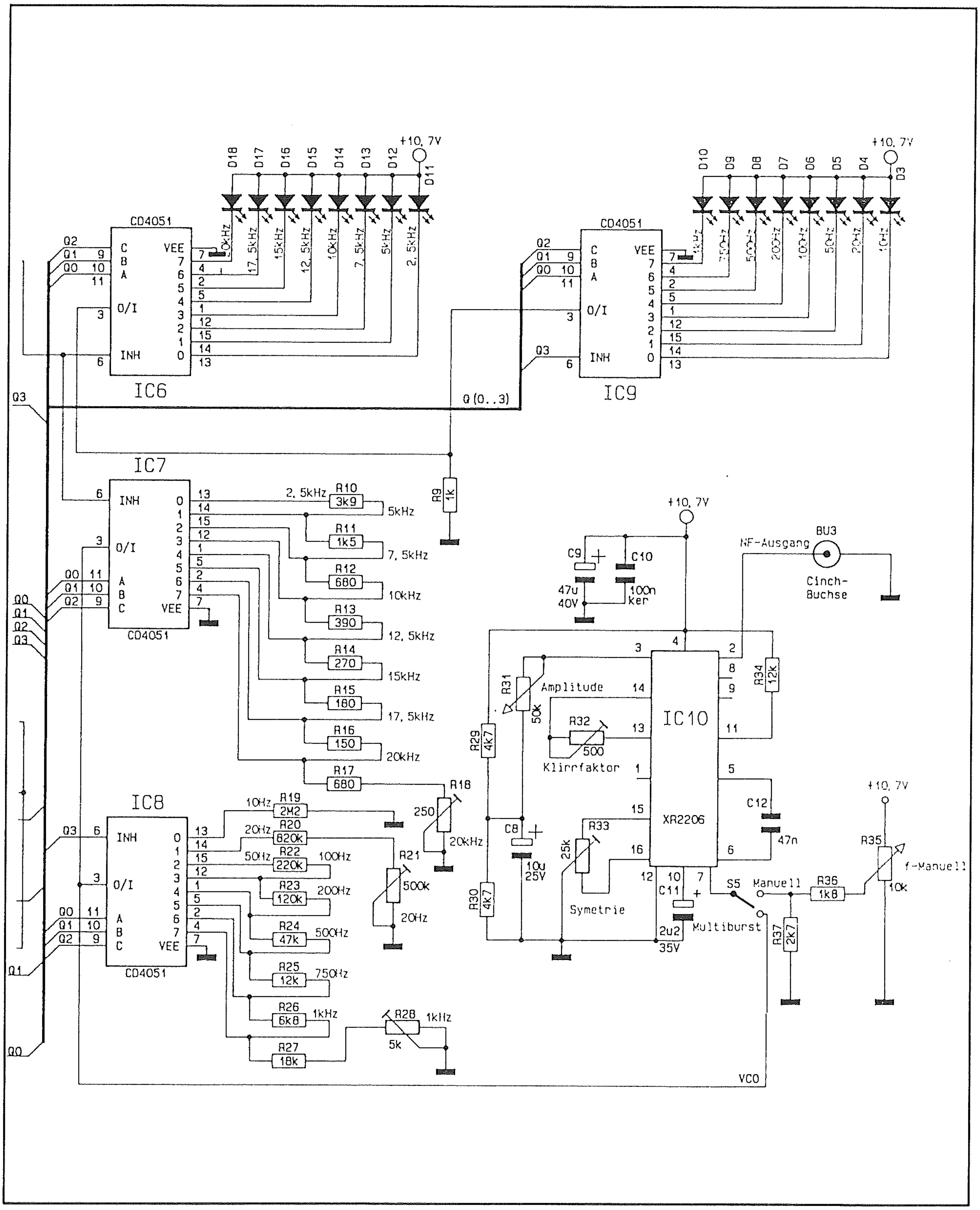
Het praktisch schema
Het volledig uitgewerkt praktisch schema van de schakeling is getekend in de figuren 4/7.27-6 en -7. Eerst wordt de digitale besturing besproken, die is samengevat in figuur 4/7.27-6. De oscillator IC2 bevat een CD4060. Dit IC bestaat uit een RC-oscillator en een veertiendelige binaire teller. De frequentie van de ingebouwde oscillator wordt bepaald door de onderdelen tussen de pennen 9, 10 en 11. Met de potentiometer R2 (het bedieningselement "Time Base") kan men de frequentie van de oscillator instellen tussen ongeveer 10 kHz en 60 kHz.
De binaire uitgangen Q5 en Q14 gaan naar de bereikenschakelaar S4. Via de "Auto"-stand van de schakelaar S3 gaan de pulsen van deze uitgangen naar de clock-ingang van de programmeerbare teller IC3 (pen 15). Als de schakelaar S3 in de bovenste stand wordt gezet, wordt de clock van de teller gestuurd via de drukknop TA1. De condensator C5, over de schakelaarcontacten geschakeld, zorgt voor de noodzakelijke onderdrukking van de contactdender van de drukknop. De teller IC3 is een programmeerbare teller. Dat wil zeggen dat er vier zogenoemde "PRESET"-ingangen P1 tot en met P4 aanwezig zijn.
Als op de PE-ingang (pen 1) een korte "L"-naar-"H"-overgang wordt aangelegd, zullen de vier uitgangen Q van de teller de informatie op de P-ingangen overnemen. De informatie op de P-ingangen wordt bepaald door de stand van de bereikenschakelaar S4.

7.27 Multiburst LF-generator



Figuur 4/7.27-6: Eerste deel van het praktisch schema, de voeding en de digitale besturing.

7.27 Multiburst LF-generator



Figuur 4/7.27-7: Tweede deel van het praktisch schema, de eigenlijke generator en de indicator.

7.27 Multiburst LF-generator

In de laagste stand, als dus de tien laagste frequenties in één cyclus worden doorlopen, zorgt deze schakelaar ervoor dat alle P-ingangen op "L" komen te staan.
In de hoge stand wordt de digitale code "L-H-H-L" geladen. Daarnaast zorgt schakelaar S4 voor het instellen van de vier poorten van de CD4070. Deze poorten decoderen de uitgangsstand van de teller IC3 en sturen op het gewenste moment de PE-ingang van IC3. De poorten zorgen dus via de PE-sturing voor de reset van de teller naar de startpositie. In het ene geval is dat bij het bereiken van de tellerstand "L-L-L-L", in het andere geval bij het bereiken van de tellerstand "L-H-L-H". Op deze manier zorgt de poortschakeling ervoor dat de programmeerbare teller IC3 in iedere stand van S4 precies de tien gewenste standen doorloopt. Deze tien standen zijn uiteraard uiteindelijk verantwoordelijk voor het genereren van de tien frequenties die bij de gekozen stand van S4 horen. De puls die via de uitgang van poort IC4A wordt aangeboden aan de PE-ingang van IC3 start uiteraard een cyclus. Vandaar dat dit signaal uitstekend geschikt is voor het triggeren van de tijdbasis van de oscilloscoop. Dit signaal wordt dan ook via BU6 uitgekoppeld en kan aangesloten worden op de externe triggeringang van de oscilloscoop. Om ook niet al te moderne oscilloscopen probleemloos op dit signaal te laten triggeren wordt dit iets verbreed. Daarvoor is de differentiator R6/C7 verantwoordelijk, die zorgt voor een kleine tijdvertraging tussen het ontstaan van de puls op de uitgang van IC4A en het activeren van de PE-ingang van IC3. De triggerpuls heeft, dank zij deze onderdelen, een breedte van ongeveer 50 µs, een waarde waar zelfs de sloomste oscilloscoop wel zal op reageren. Op de vier Q-uitgangen van de programmeerbare teller IC3 staan, afhankelijk van de stand van de schakelaar S4, de decimale codes "0" tot en met "9" of "6" tot en met "15" ter beschikking. De vier signalen die deze codes transporteren, Q1 tot en met Q4, gaan naar de databus van het systeem.
Vervolgens wordt de eigenlijke functiegenerator besproken, die is samengevat in figuur 4/7.27-7. De databus wordt uitgelezen door vier identieke analoge multiplexers van het type CD4051. De twee bovenste, IC6 en IC9, verzorgen de besturing van de zestien LED'jes. De anoden van deze onderdelen liggen aan de positieve voedingsspanning van +10,7 V. Een van de uitgangen 0 tot en met 7 wordt verbonden met de O/I op pen 3. Welke uitgang dat is, is uiteraard afhankelijk van de code op de databus. De betreffende LED wordt via de interne schakelaar doorverbonden met de weerstand R9 en gaat dus oplichten. De twee multiplexers worden allebei gestuurd uit de datasignalen Q0 tot en met Q2. Uit het signaal Q3 wordt via de inverter T1 (nog op figuur 4/7.27-6) een geïnverteerd signaal afgeleid. Dit wordt gebruikt voor het sturen van de INHIBIT van IC6. De INHIBIT van IC9 wordt uiteraard gestuurd uit het signaal Q3. Op deze manier zal, afhankelijk van de code op Q3, ofwel IC6, ofwel IC9 geactiveerd worden en zal steeds maar één LED branden. Hetzelfde systeem wordt toegepast bij de besturing van de twee overige multiplexers IC7 en IC8. De uitgangen 0 tot en met 7 van deze schakelingen zijn aangesloten op weerstandsdelers, die naar de massa gaan. De I/O-pennen gaan rechtstreeks naar pen 7 van de functiegenerator IC10. De weerstanden bepalen de stroom die uit deze pen naar de massa vloeit en daarmee ook de frequentie die door de XR2206 wordt gegenereerd. Drie frequenties, namelijk

7.27 Multiburst LF-generator

20 Hz, 1 kHz en 20 kHz, kunnen heel precies worden afgeregeld door middel van de instelpotentiometers R18, R21 en R28. Dit hele verhaal geldt natuurlijk alleen als de schakelaar S5 in de getekende stand staat. Schakelt men deze om naar de stand "Manual", dan wordt de stroom die uit pen 7 afvloeit naar de massa bepaald door de stand van de loper van de potentiometer R35. Hiermee kan men de uitgangsfrequentie met de hand tussen 10 Hz en 20 kHz instellen. De externe schakeling rond de functiegenerator XR2206 bevat een heleboel afregelelementen. Met R33 kan men de symmetrie van de sinus instellen. De instelpotentiometer tussen de pennen 13 en 14 wordt gebruikt voor het minimaliseren van de vervorming van de sinus. Met R31 kan men de maximale uitgangsamplitude instellen.

De voeding

De voeding van de schakeling is getekend in de linker bovenhoek van het schema van figuur 4/7.27-6. Het apparaatje kan gevoed worden uit een netstekervoeding dat een uitgangsspanning tussen +12 V en +35 V aflevert. Door middel van de stabilisator IC1 wordt uit deze spanning een gestabiliseerde spanning van +10,7 V afgeleid. De diode D2 zorgt ervoor dat de uitgangsspanning van de 7810, normaal ongeveer +10 V, wordt verhoogd tot de gestelde waarde.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W, 1 %:

R1,R26	=	6,8 kΩ
R3,R29,R30	=	4,7 kΩ
R4,R5,R8	=	100 kΩ
R6,R7,R24	=	47 kΩ
R9	=	1 kΩ
R10	=	3,9 kΩ
R11	=	1,5 kΩ
R12,R17	=	680 Ω
R13	=	390 Ω
R14	=	270 Ω
R15	=	180 Ω
R16	=	150 Ω
R19	=	2,2 MΩ
R20	=	820 kΩ
R22	=	220 kΩ
R23	=	120 kΩ
R25,R34	=	12 kΩ
R27	=	18 kΩ
R36	=	1,8 kΩ
R37	=	2,7 kΩ

Instelpotentiometers, PT10, liggend:

R18	=	250 Ω
R21	=	500 kΩ
R28	=	5 kΩ
R32	=	500 Ω
R33	=	25 kΩ

Instelpotentiometers, PT15, liggend:

R2,R31	=	50 kΩ
R35	=	10 kΩ

Condensatoren:

C1,C10, V13-C20	=	100 nF	ceramisch
C2	=	470 µF	50 V elco
C3,C8	=	10 µF	25 V elco
C4,C7	=	1 nF	MKH
C5,C6,C12	=	47 nF	MKH
C11	=	2,2 µF	35 V elco
C9, C21	=	47 µF	16 V elco

Halfgeleiders:

D1	=	1N4001
D2	=	1N4148
D3-D18	=	3 mm LED rood
T1	=	BC548
IC1	=	7810
IC2	=	CD4060

7.27 Multiburst LF-generator

IC3	=	CD4516
IC4	=	CD4082
IC5	=	CD4070
IC6-IC9	=	CD4051
IC10	=	XR2206

Diversen:

S1,S3,S5	=	schakelaar, 1xOM
S4	=	schakelaar, 2xOM
TA1	=	drukknop
BU1	=	mono stekerbus
BU3	=	cinchconnector
BU6	=	BNC-bus
SI1	=	315 mA zekering

1 x printzekeringhouder
3 x as voor PT15

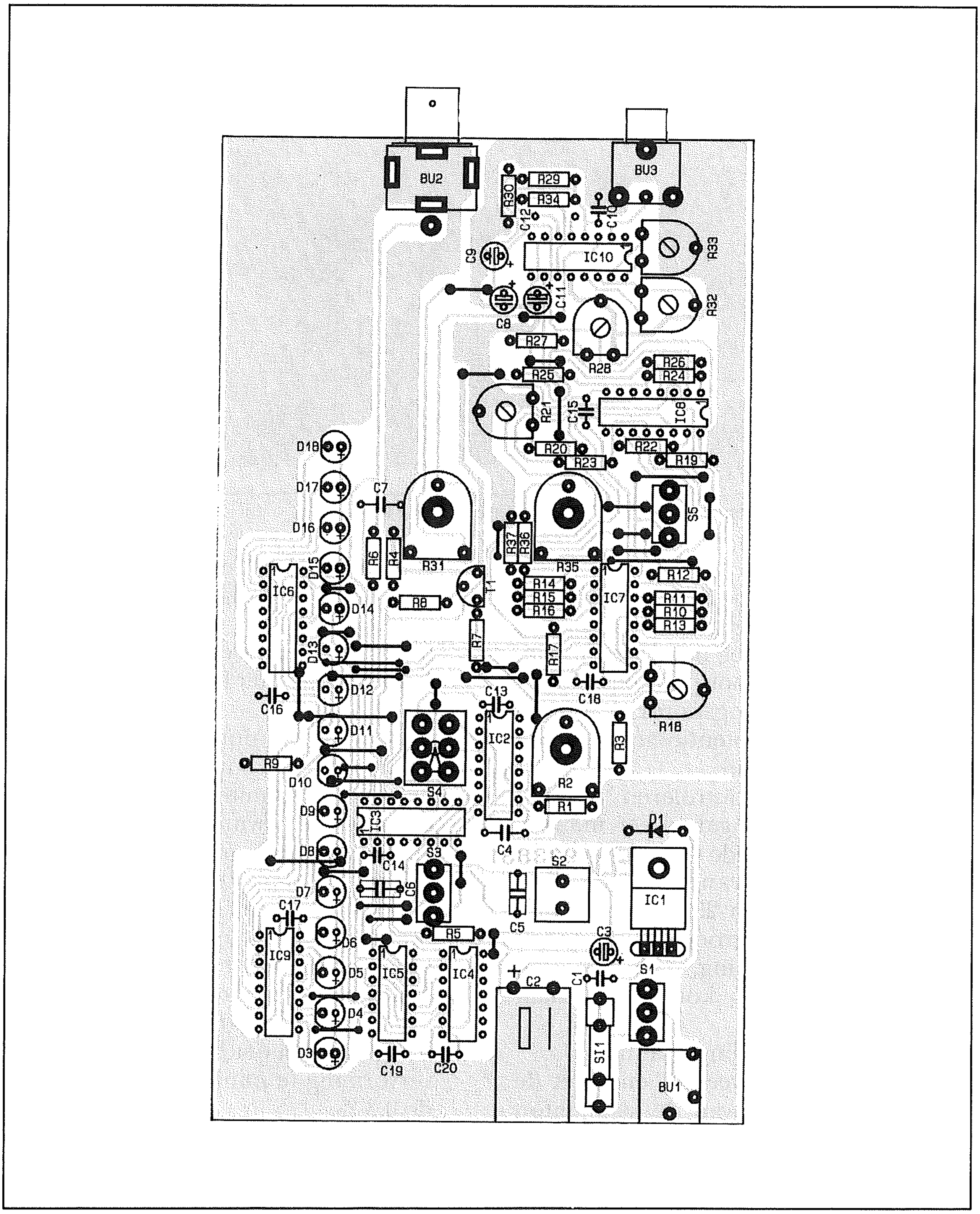
Bouw van de schakeling

De print die op de transparante printpagina als figuur 4/7.27-8 wordt voorgesteld bevat werkelijk alle onderdelen van de schakeling, zodat de externe bedrading beperkt blijft tot het aansluiten van de voeding. De componentenopstelling is getekend in figuur 4/7.27-9.
Voor de eenvoud van de nabouw is gekozen voor een enkelzijdige print. Het gevolg hiervan is wel dat in totaal 37 draadbruggen aangebracht moeten worden. Uiteraard start de bouw met het aanbrengen van deze draadbruggen. Deze moeten zorgvuldig en zo plat mogelijk op het oppervlak van de print worden gemonteerd. Nadien kan men alle weerstanden solderen. Zoals uit de onderdelenlijst blijkt moeten hiervoor metaalfilmweerstanden met een tolerantie van 1 % worden toegepast. Deze tolerantie is belangrijk, omdat hiervan de nauwkeurigheid van de 16 uitgangsfrequenties afhangt. Vervolgens komen de dioden, de ene transistor en de condensatoren aan de beurt. De daaropvolgende stappen kunnen als volgt worden samengevat:

- alle instelpotentiometers worden liggend op de print gemonteerd;
- de spanningsstabilisator van 10 V wordt eveneens liggend aangebracht en met een M3 boutje en moertje op de print vast geschroefd;
- nadien worden alle geïntegreerde schakelingen aangebracht, waarbij het aan de nabouwer wordt overgelaten of deze wel of niet voetjes wil gebruiken;
- de schakelaars onder de vorm van printuitvoeringen worden zo diep mogelijk in de print geduwd en nadien zo vast gesoldeerd, dat de lichamen loodrecht op de print staan;
- de drukknop, eveneens voor printmontage, wordt zo diep in de print geduwd, dat de afstand tussen de print en de bovenzijde van de knop 16 mm bedraagt;
- de 16 LED's worden zo diep in de print geduwd, dat de afstand tussen het oppervlak van de print en de onderzijde van het LED-lichaam 17 mm bedraagt;
- de asjes voor de instelpotentiometers moeten op 28 mm afgekort worden en nadien in de instelpotentiometers R2, R32 en R35 worden geduwd;
- de drie aansluitconnectoren, eveneens bedoeld voor rechtstreekse printmontage, worden op de print gesoldeerd, let er hierbij op dat de drie connectoren haakse uitvoeringen moeten zijn;
- tot slot wordt de printzekeringhouder en de zekering gemonteerd.

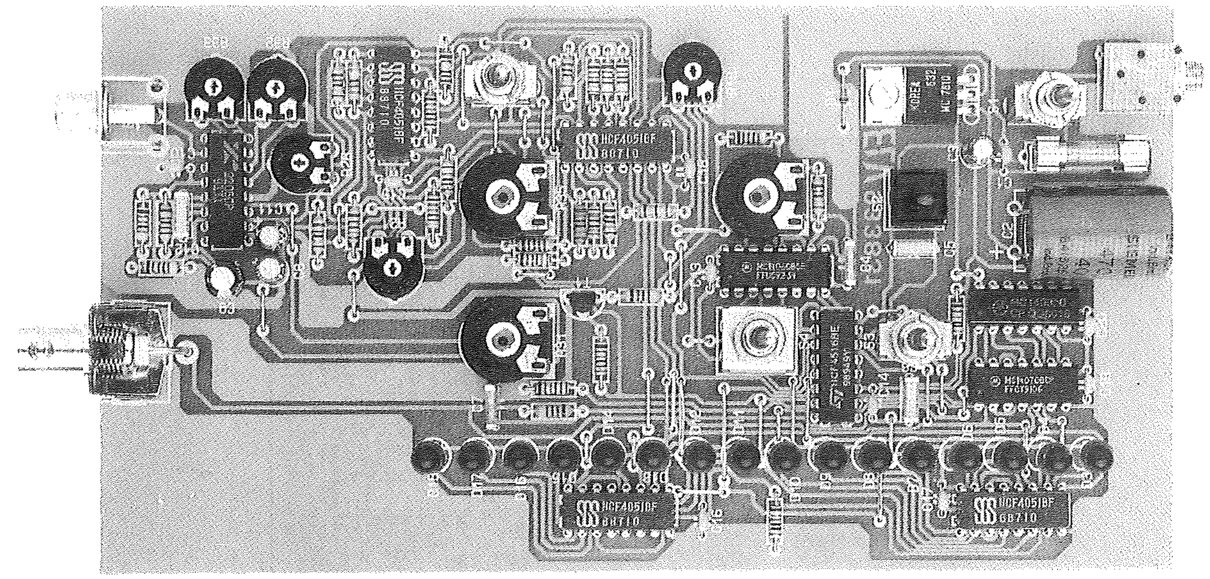
Bij het laatste punt moet opgemerkt worden dat het niet mogelijk is een "normale" printzekeringhouder te gebruiken. Deze steekt namelijk veel te hoog boven de print uit. Wat wél bruikbaar is zijn twee zekeringclip's, die zo plat mogelijk op de print worden vast gesoldeerd. Na al dit werk moet de print er uitzien zoals voorgesteld in figuur 4/7.27-10.

7.27 Multiburst LF-generator



Figuur 4/7.27-9: De componentenopstelling van de print.

7.27 Multiburst LF-generator



Figuur 4/7.27-10: Het compleet gemonteerde proto-type van de schakeling.

Afregelen

De schakeling bevat vijf instelpotentiometers, hetgeen er op wijst dat er nogal wat afregelwerkzaamheden noodzakelijk zijn. Deze worden punt voor punt besproken. Alvorens de afregeling wordt begonnen worden alle instelpotentiometers in de middenstand gedraaid.

- Voedingsstroom controleren
  Vervang de zekering door een milliampèremeter en sluit de voeding aan. Het stroomverbruik van de schakeling moet liggen tussen 25 mA en 50 mA. Een veel hogere stroom duidt op een fout in de schakeling, naar alle waarschijnlijkheid een kortsluiting naar massa.
- Meten van de voedingsspanning
  Zet de zekering weer in en meet de uitgangsspanning van de stabilisator. Deze moet ongeveer +10,7 V ten opzichte van de massa bedragen.
- 1 kHz ijken
  Zet het apparaat in de "Single Step"-mode en stel met de drukknop in op een uitgangsfrequentie van 1 kHz. Met de scoop of een digitale frequentiemeter meet men de frequentie van het uitgangssignaal. Deze wordt met de instelpotentiometer R21 op 1 kHz afgeregeld.
- Vervorming minimaliseren
  Verbindt een scoop of, indien voorradig, een vervormingsmeter met de uitgang. Met de symmetrieregeling R33 en de vervormingsinstelling R32 stelt men de vorm van de uitgangsspanning in op een zo zuiver mogelijke sinus. De twee potentiometers beïnvloeden elkaar, zodat men verschillende afregelcyclussen moet doorlopen. Als men de beschikking heeft over een vervormingsmeter moet het mogelijk zijn de vervorming te minimaliseren tot rond de 0,3 %.
- Overige ijkfrequenties afregelen
  Druk op de drukknop, totdat de LED "20 kHz" gaat branden. Verdraai nu de instelpotentiometer R18 tot de frequentie van het uitgangssignaal gelijk is

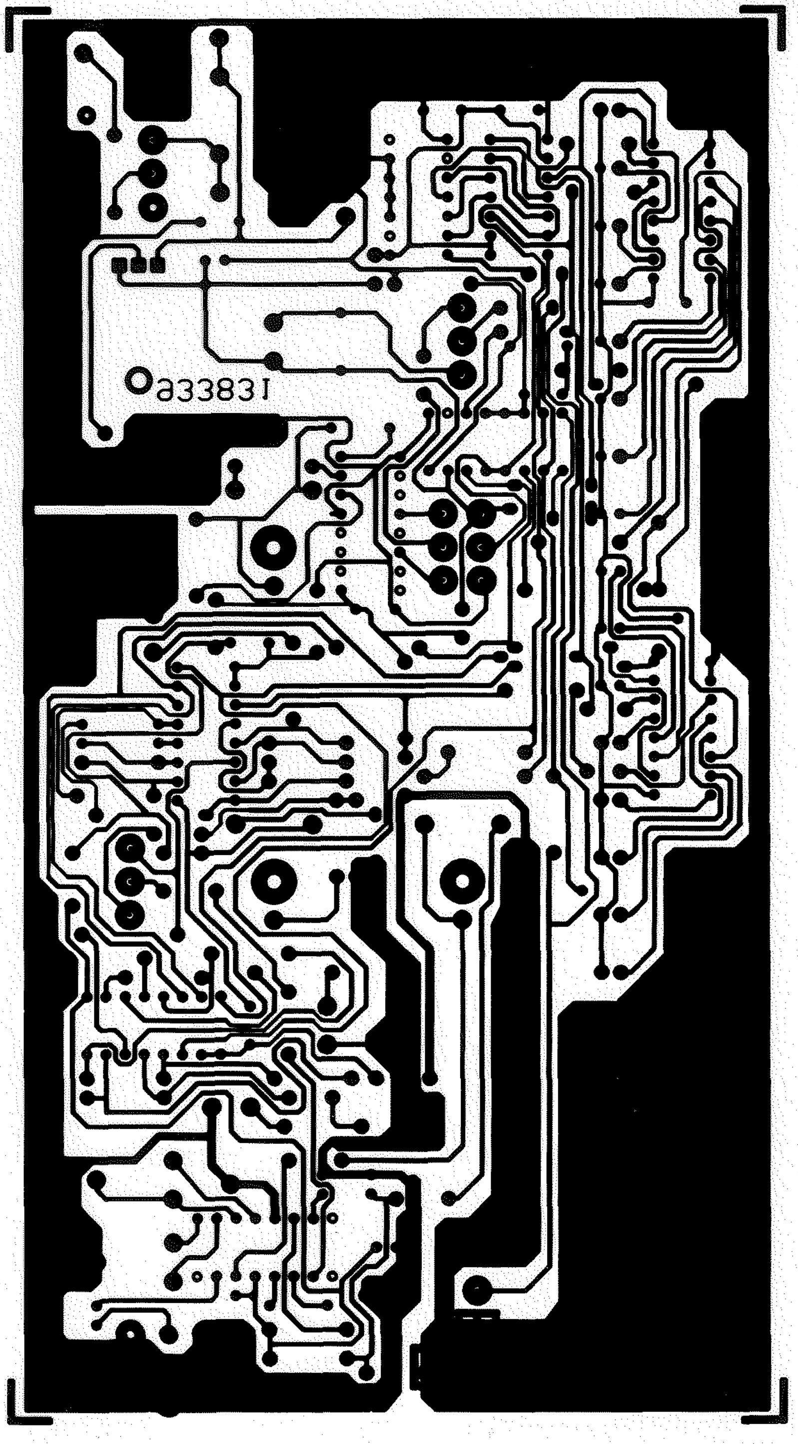
7.27 Multiburst LF-generator

aan 20 kHz. Stel vervolgens de frequentie met de "Range"-schakelaar en met de drukknop in op 20 Hz. Verdraai de instelpotentiometer R21 tot de uitgangsfrequentie gelijk is aan 20 Hz.
Hiermee is het apparaatje afgeregeld en kan zijn nuttige diensten in het hobbylaboratorium gaan bewijzen.

Bouwpakket informatie
Als extra service aan de nabouwers van deze schakeling kan nog vermeld worden dat deze multiburst LF-generator in diverse onderdelenzaken leverbaar is als compleet bouwpakket. De samenstelling van dit bouwpakket, inclusief de print met componentenopdruk en soldeermasker en een volledig voorgeboorde en gezeefdrukte behuizing, wordt verzorgd door de firma Binell B.V.,
Postbus 83, 7440 AB Nijverdal,
telefoon 05486-17475,
fax 05486-12678.
Het bouwpakket wordt geleverd onder de bestelcode 14.001.
Op het genoemde adres kan men alle nodige informatie krijgen over prijzen en verkoopadressen.

7.27 Multiburst LF-generator

7.27 Multiburst LF-generator



Figuur 4/7.27-8: De print van de schakeling.

4/7.28

Acht bit hexadecimale indicator

Inleiding

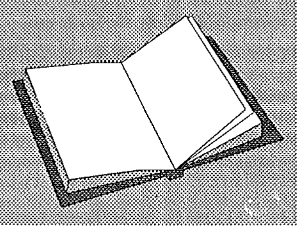
In de microcomputer techniek wordt meestal gewerkt met groepen van 8, 16, 32 of 64 bits. Deze zijn gegroepeerd als zogenoemde "nibbles", combinaties van vier bits. Om het uitlezen van de gegevens zo eenvoudig mogelijk te maken, werkt men met het hexadecimale telstelsel. De zestien bitcombinaties die in één nibble mogelijk zijn worden gecodeerd met de cijfers 0 tot en met 9 en met de letters A tot en met F. Een acht bit breed woord als "L-L-L-H-H-H-L-H" kan dan heel eenvoudig worden voorgesteld door $[1D]_{HEX}$. De toevoeging HEX duidt er op dat de gegevens in hexadecimale vorm worden gegeven. Bij de service aan digitale schakelingen is het erg handig als men een apparaatje zou hebben, dat de inhoud van acht bit brede woorden rechtstreeks onder de vorm van de hexadecimale code van de twee nibbles zou voorstellen. Nu zijn er talloze digitale testertjes op de markt, maar apparaatjes die een acht bit breed digitaal woord rechtstreeks onder de vorm van een hexadecimale code weergeven zijn dun gezaaid. Daarvoor bestaan immers digitale analysers, grote en dure apparaten die voor de doe-het-zelver wel voor altijd een wensdroom zullen blijven. In dit hoofdstuk wordt echter een heel eenvoudig en goedkoop apparaatje beschreven, waarmee men een aardig eind op weg komt. Het printje bevat een handvol onderdelen, die twee zeven-segments indicatoren aansturen. Op dergelijke indicatoren kan men immers ook alle symbolen van de hexadecimale code weergeven, zij het dat sommige letters in onderkast worden weergegeven in plaats van in kapitalen. De indicatie op een dergelijk display is weergegeven in figuur 4/7.28.1. Zoals blijkt, voldoen alleen de letters "b" en "d" niet aan de code, omdat deze in onderkast worden weergegeven. Een kleine schoonheidsfout, waarmee te leven valt!

Programmeerbare logica

Een tweede probleempje is dat in de schakeling gebruikt wordt gemaakt van een GAL, een programmeerbaar logisch array. Dat is noodzakelijk omdat er, vreemd genoeg, geen standaard IC's in de handel zijn die een binaire code omzetten in het hexadecimale equivalant. De codeomzetting moet eenmalig worden inge-

LEES OOK:

Hoofdstuk 3/6.2
Hoofdstuk 3/6.8
Hoofdstuk 3/6.19



7.28 Acht bit hexadecimale indicator

bakken in de GAL, een klusje dat voor de gemiddelde doe-het-zelver niet mogelijk is. Gelukkig kan men de geprogrammeerde GAL rechtstreeks bestellen (zie laatste paragraaf) bij de firma die ook het komplete bouwpakket levert.

DECIMAAL	BINAIR	HEXADECIMAAL
0	L-L-L-L	0
1	L-L-L-H	1
2	L-L-H-L	2
3	L-L-H-H	3
4	L-H-L-L	4
5	L-H-L-H	5
6	L-H-H-L	6
7	L-H-H-H	7
8	H-L-L-L	8
9	H-L-L-H	9
10	H-L-H-L	A
11	H-L-H-H	b
12	H-H-L-L	C
13	H-H-L-H	d
14	H-H-H-L	E
15	H-H-H-H	F

Figuur 4/7.28-1: Het verband tussen de decimale, binaire en hexadecimale code, zoals deze op een zeven-segments display wordt weergegeven.

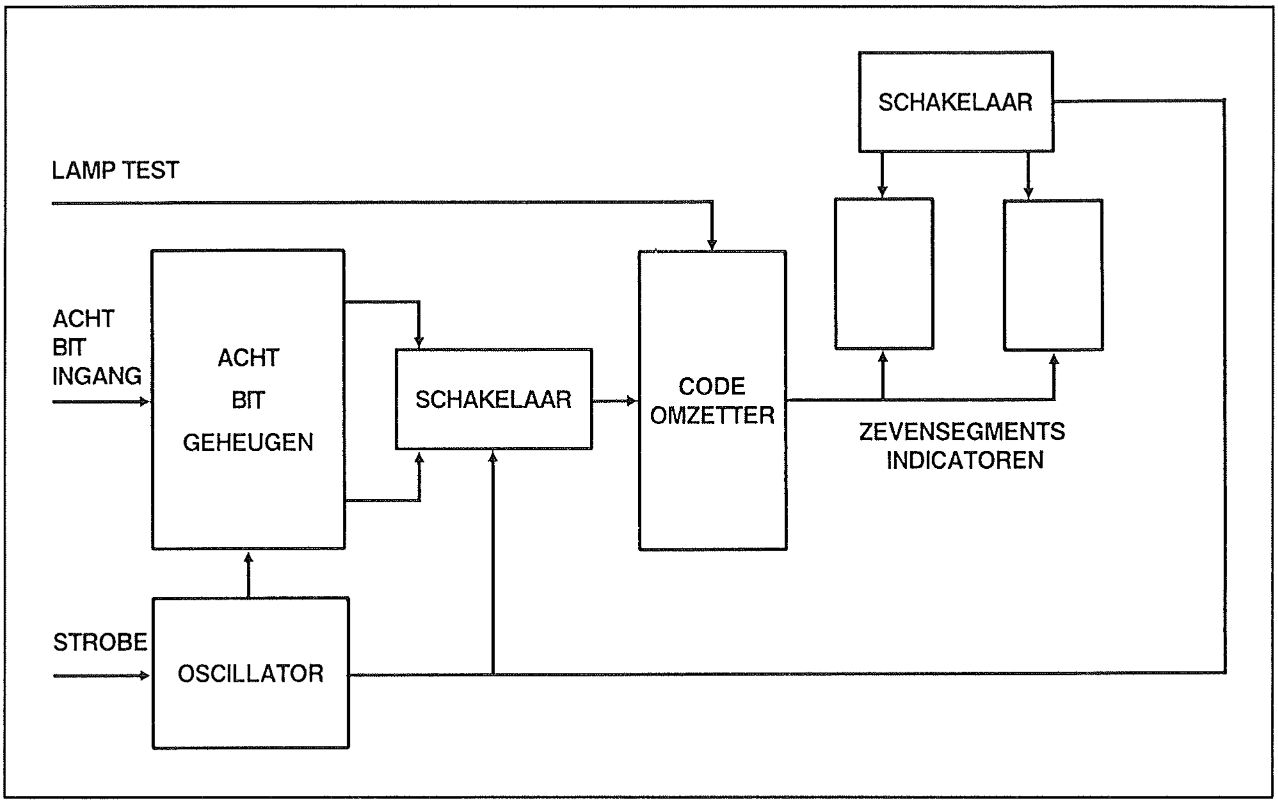
Het blokschema

Het blokschema van deze digitale tester is weergegeven in figuur 4/7.28-2. Het acht bit brede ingangswoord wordt opgeslagen in een tussengeheugen. De overdracht van de gegevens naar de uitlezing gebeurt ofwel continu, op het ritme van een ingebouwde klok, ofwel door een signaal op de STROBE-ingang. Op deze manier is het mogelijk ook gegevens te traceren, die maar even op de ingangslijnen aanwezig zijn. Het omschakelen tussen continu en momenteel gebeurt via een jumpertje op de print. Het omzetten van de binaire code naar de hexadecimale code gebeurt uiteraard per vier bit. Om onderdelen te besparen is slechts één code-omzetter aanwezig. De ingebouwde oscillator stuurt twee elektronische schakelaars. De ene zet de twee maal vier bits achtereenvolgens op de ingangen van de code-omzetter. De tweede stuurt synchroon de twee zeven-segment display's aan. Dank zij de symmetrische werking van beide schakelaars en de traagheid van het menselijke oog lijkt het alsof de twee maal vier bits tezelfdertijd worden uitgelezen. Tot slot is nog een ingang LAMP TEST aanwezig, waarmee men alle segmenten van de display's kan laten oplichten.

De praktische schakeling

De volledig uitgewerkte praktische schakeling is voorgesteld in figuur 4/7.28-3. De acht ingangen worden toegevoerd via de printpennen ST0 tot en met ST7. Deze ingangen liggen via de optrekweerstanden R2 op +5 V. Hiervoor wordt een weerstandsarray toegepast, een single-in-line onderdeel, waarin acht identieke weerstanden aanwezig zijn met één gemeenschappelijke aansluiting. Sluit men geen signalen aan, dan zal de uitlezing dus steeds $[FF]_{HEX}$ aanwijzen. De ingangen gaan naar de data-ingangen D van het geheugen IC1. De clock van dit IC wordt via de jumper STROBE ofwel verbonden met de externe STROBE-aansluiting op ST8, ofwel met de uitgang van de interne clock-generator. Deze is opgebouwd rond de twee poorten IC3A en IC3B en wekt een vierkantsgolf op met een frequentie van ongeveer 100 Hz. De clock van IC1 werkt positief flankgetriggerd, zodat de gegevens op de ingang worden ingelezen op het moment dat het clock-signaal van "L" naar "H" gaat. Hetzelfde geldt natuurlijk voor de externe STROBE.

7.28 Acht bit hexadecimale indicator

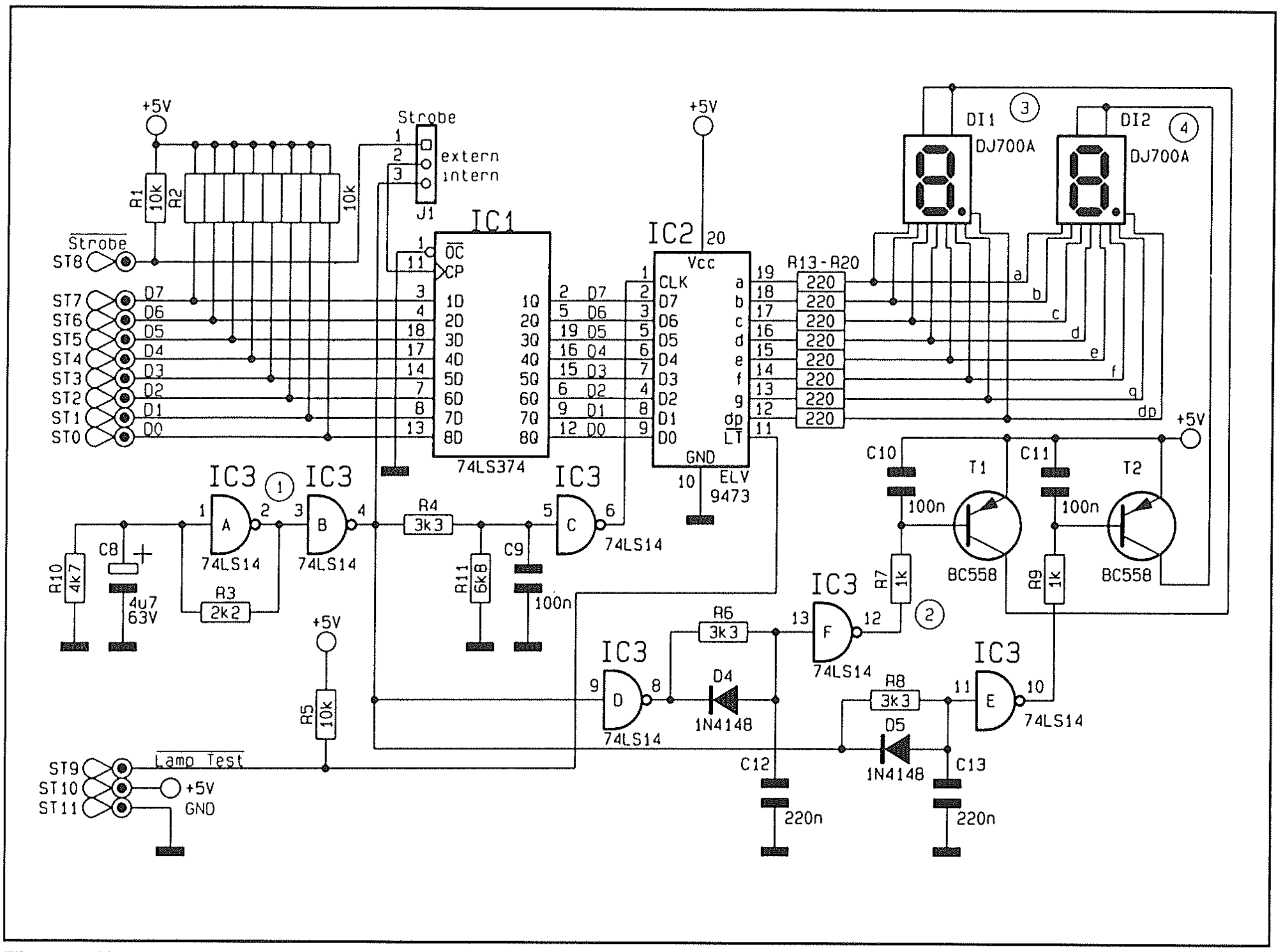


Figuur 4/7.28-2: Het blokschema van de logische tester.

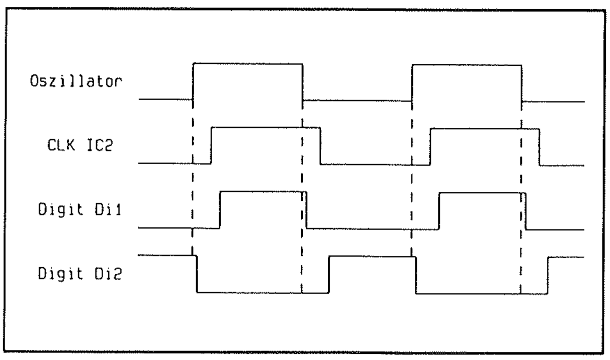
Het clock-signaal wordt via de RC-combinatie R4, R11 en C9 aan de inverter IC3C toegevoerd. De uitgang van deze poort stuurt de clock van IC2. Dit is de GAL, die speciaal geprogrammeerd is voor het omzetten van de binaire code in hexadecimale code.
Afhankelijk van het logisch signaal op pen 1 decodeert deze GAL het onderste of bovenste nibble van het acht bit brede ingangswoord. De GAL is ook verantwoordelijk voor de display-test. Via ingang ST9 kan men een laag signaal aanbieden, waardoor de GAL al zijn uitgangen laag stuurt, zodat alle segmenten van de display's gaan branden. Het uitgangssignaal van de clockgenerator wordt via twee tijdvertragende netwerkjes rond IC3D en IC3E gebruikt voor het aansturen van de display's. De inverter IC3F zorgt ervoor dat de twee display's om beurt werken en elkaar dus niet hinderen. De uitgangen van de poorten IC3E en IC3F sturen de twee transistoren T1 en T2 in geleiding, waardoor de gemeenschappelijke anoden van de display's met de +5 V voedingsspanning verbonden worden. De condensatoren C10 en C11 zorgen voor een verslechtering van de inschakeltijden van de twee transistoren, waardoor de digitale ruis, die de schakeling eventueel in de onderzochte schakeling zou introduceren, geminimaliseerd wordt.

Tijddiagram
Tot slot van de bespreking van de schakeling wordt aan de hand van de timingdiagrammen van figuur 4/7.28-4 de werking van de schakeling nog eens in het kort samengevat.

7.28 Acht bit hexadecimale indicator



Figuur 4/7.28-3: Het praktisch schema van de hexadecimale uitlezing.



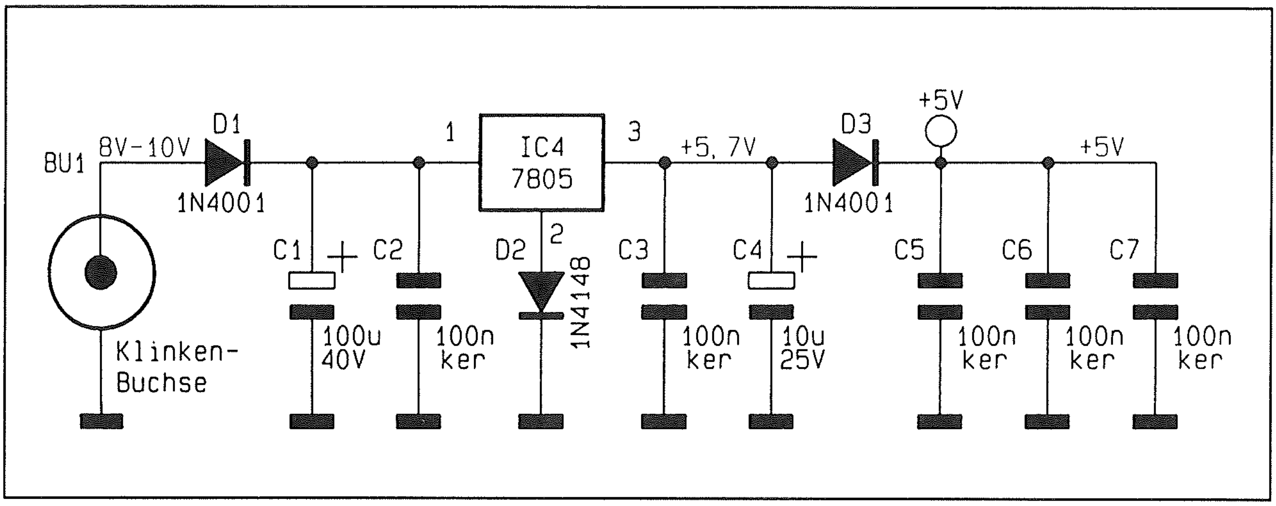
Figuur 4/7.28-4: De timing van de schakeling.

Even na de polariteitswisseling van het clock-signaal wordt het op dat moment actieve display uitgeschakeld. De door IC3C geïntroduceerde vertraging zorgt ervoor dat de clock die aan IC2 wordt aangeboden iets vertraagd wordt. Deze clock zorgt ervoor dat op de uitgangen van de GAL de HEX-codering van het andere nibble verschijnt. Op dat moment zijn echter beide display-drivers uitgeschakeld, zodat een en ander zonder stroomsprongen gepaard gaat. Na een korte vertragingstijd schakelt het andere display in en wordt de HEX-codering van het tweede nibble afgebeeld op het daaraan gekoppelde display.

De voeding

De voeding van de schakeling is getekend in figuur 4/7.28-5. Aan BU1 kan een ongestabiliseerde spanning tussen +8 V en +10 V worden aangeboden.

7.28 Acht bit hexadecimale indicator



Figuur 4/7.28-5: De goed ontkoppelde voeding voor de schakeling.

De diode D1 beschermt de schakeling tegen per ongeluk aangesloten negatieve spanningen. De stabilisator IC4 reduceert de voedingsspanning tot +5 V. De massa-aansluiting van deze regulator ligt echter niet rechtstreeks aan de massa, maar via de diode D2. Een en ander heeft tot gevolg dat op de uitgang van IC4 een spanning van +5,7 V staat. Door de serieschakeling van D3 wordt deze spanning echter weer gereduceerd tot +5 V. De twee dioden D2 en D3 zorgen ervoor dat het in de stabilisator gedissipeerde vermogen minimaal is, zodat men dit IC zonder externe koelmaatregelen op de printplaat kan monteren. De schakeling van de voeding is uitermate goed ontkoppeld met niet minder dan zeven condensatoren. Deze zorgen ervoor dat de schakeling waarin gemeten wordt en de schakeling van de indicator elkaar zo min mogelijk storen. Een zeer belangrijke eis voor moderne digitale schakelingen, die immers met extreem snelle IC's werken. Zelfs een stoorpulsje van enige nanoseconden breedte op de voeding kan tot storingen leiden.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W, 5 %:

R1,R5	=	10	kΩ	
R2	=	8x10	kΩ	array
R3	=	2,2	kΩ	
R4,R6,R8	=	3,3	kΩ	
R7,R9	=	1	kΩ	
R10	=	4,7	kΩ	
R11	=	6,8	kΩ	
R13-R20	=	220	Ω	

Condensatoren:

C1	=	100	µF	40 V elco
C2,C3,C5,C6,C7	=	100	nF	ceramisch
C4	=	10	µF	25 V elco
C8	=	4,7	µF	63 V elco
C9,C10,C11	=	100	nF	MKH
C12,C13	=	220	nF	MKH

Halfgeleiders:

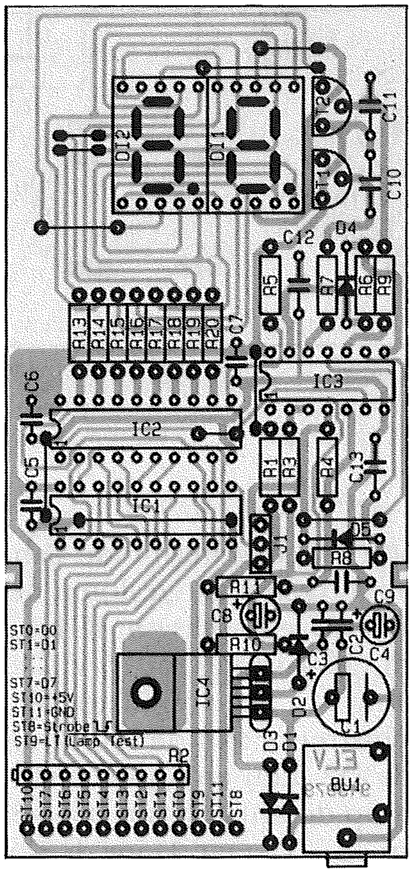
D1,D3	=	1N4001
D2,D4,D5	=	1N4148
DI1,DI2	=	DJ700A
T1,T2	=	BC558
IC1	=	74LS374

IC2	=	ELV9473
IC3	=	74LS14
IC4	=	7805

Diversen:
1 x mono 3,5 mm bus
1 x jumper, drie contacten
1 x 12-polige randconnector
1 x 14-polig IC-voetje
2 x 20-polig IC-voetje
1 x M3x10 boutje
1 x M3 moertje

De bouw van de schakeling
Alle onderdelen van de schakeling kunnen ondergebracht worden op de print die op de transparante printpagina wordt voorgesteld als figuur 4/7.28-6. De componentenopstelling is getekend in figuur 4/7.28-7.
Na het solderen van de in totaal tien draadbruggetjes kunnen alle kleine en lage onderdelen gemonteerd worden. De drie IC's kunnen het best op voetjes gemonteerd worden. Vóór het insolderen van de 7805 moeten de drie aansluitdraadjes onder een hoek van 90 graden gebogen worden en wel zo dat het metalen bevestigingsbeugeltje op de print vast geschroefd kan worden. Dat kan met behulp van het M3 boutje en moertje.

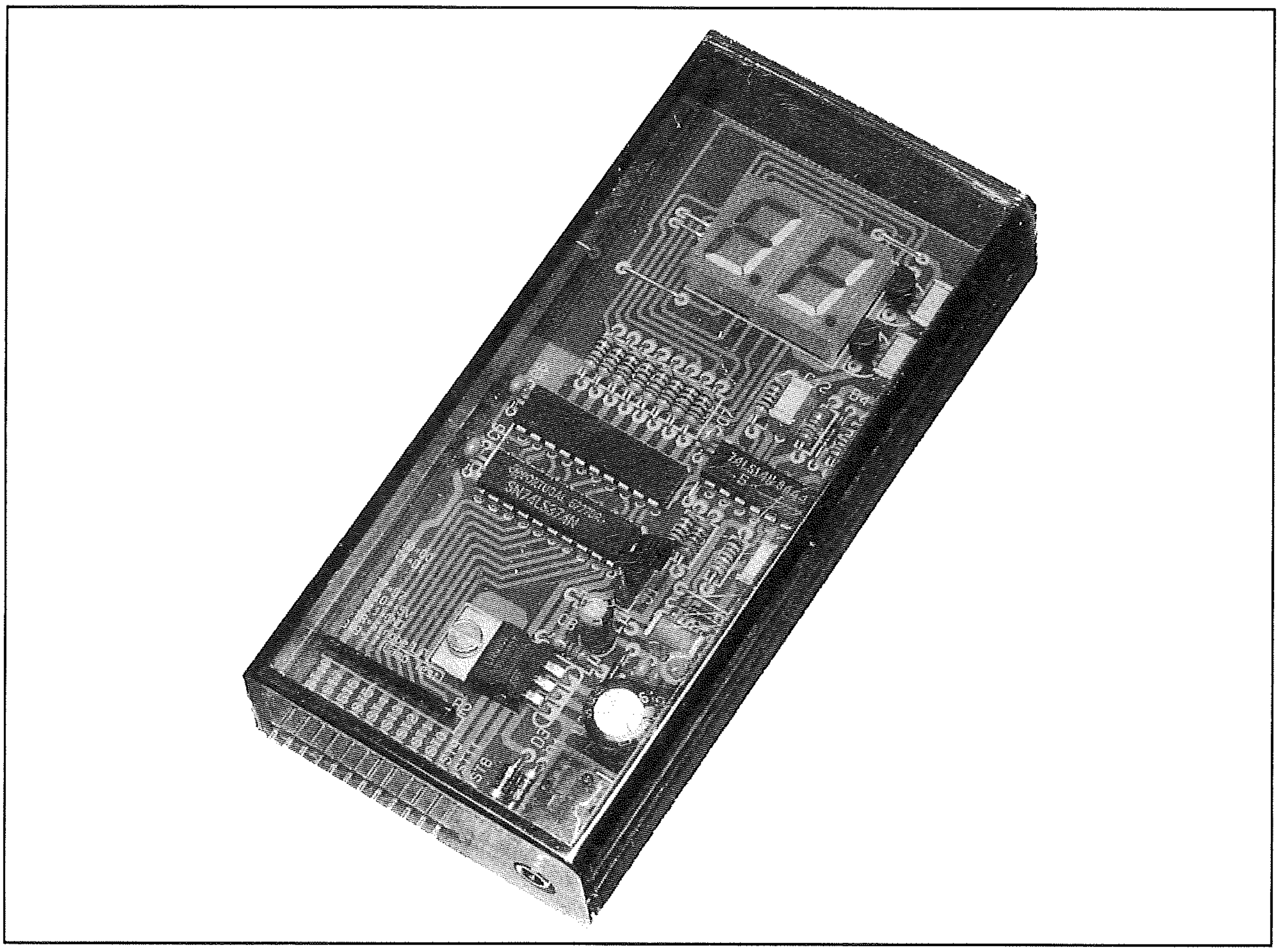
Testen en eindmontage
Nadat alle onderdelen zijn aangebracht moet de jumper op de interne clock worden gezet. Nadien kan de voedingsspanning worden aangesloten. Het stroomverbruik moet ongeveer 110 mA bedragen. Omdat alle ingangen met pull-up weerstanden met de +5 V voeding verbonden zijn, moet in rust de code $[FF]_{HEX}$ op de display's verschijnen. Door het kortsluiten van de ingangen ST9 en ST11 wordt de LAMP TEST geactiveerd, waardoor alle segmenten van beide display's moeten oplichten.



Figuur 4/7.28-7: De componentenopstelling van de print.

Vervolgens worden op ST0 tot en met ST3 alle zestien code-combinaties aangesloten, dus van "L-L-L-L" tot en met "H-H-H-H", en wordt gecontroleerd of het display goed reageert. Nadien wordt deze test herhaald met de ingangen ST4 tot en met ST7. Tot slot moet de werking van het interne geheugen worden gecontroleerd. Op de ingangen wordt een bepaalde code-combinatie aangelegd. Nadien wordt de STROBE-jumper verplaatst naar de stand EXTERN.

7.28 Acht bit hexadecimale indicator



Figuur 4/7.28-8: Een impressie van de kompleet gemonteerde schakeling.

De code op de ingangen wordt nu veranderd, hetgeen echter geen gevolgen mag hebben voor de uitlezing. Om de nieuwe code in te lezen verbindt men even de ingangen ST8 en ST11. De display's moeten nu onmiddellijk de HEX-code van de nieuwe ingangscombinatie aanduiden.
Hiermee kan men de schakeling als goedgekeurd beschouwen en het printje eventueel inbouwen in een passende behuizing. In figuur 4/7.28-8 is het geheel ingebouwd in een klein profielkastje met transparant dekseltje. Als men alle onderdelen netjes op de print heeft gesoldeerd ontstaat op deze manier een juweeltje, dat men met plezier aan het aanwezige instrumentarium zal toevoegen.

Aansluitingen
Alle aansluitingen op de print worden verzorgd via de 12-polige randconnector. De contacten van deze connector zijn genummerd van ST0 tot en met ST11. Een overzicht van de codering van deze twaalf ingangen.
- ST0: data 0
- ST1: data 1
- ST2: data 2
- ST3: data 3
- ST4: data 4
- ST5: data 5
- ST6: data 6
- ST7: data 7
- ST8: EXTERN STROBE, positief flank getriggerd

7.28 Acht bit hexadecimale indicator

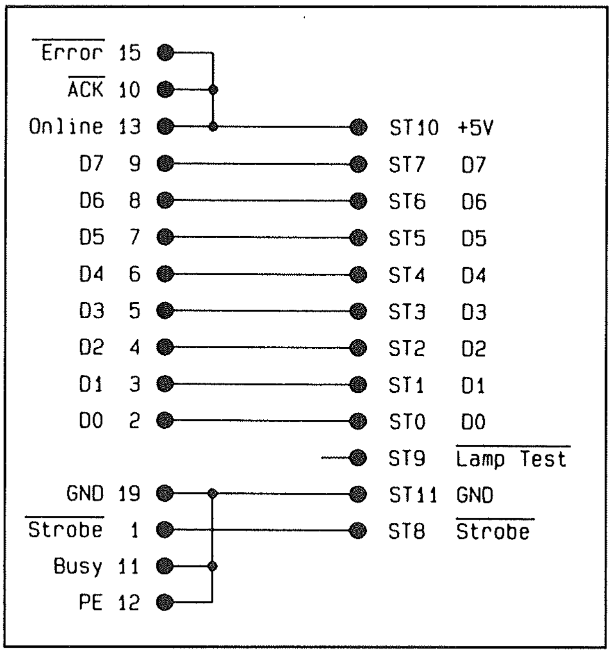
- ST9: LAMP TEST, laag actief
- ST10: +5 V
- ST11: massa

Het werken met de schakeling

Iedereen die deze schakeling wil bezitten zal natuurlijk al enige ervaring hebben met het testen van digitale schakelingen. Het ligt dus voor de hand dat men de acht ingangen ST0 tot en met ST7 door middel van draadjes met miniatuur clip's aan een IC in de te testen schakeling moet aansluiten. Is de binaire code die men wil meten stabiel in de tijd, dan kan men de STROBE-jumper op INTERN zetten. Als de binaire code op de testpennen echter zeer snel verandert kan men niet op deze manier werken. De twee display's geven dan zinloze informatie weer. Men zal dan ergens in de schakeling een punt moeten zoeken, waarmee men de tester kan triggeren. Dat gebeurt via de STROBE-ingang op pen ST8, waarbij de jumper natuurlijk op extern moet worden gezet. Denk er aan dat de STROBE reageert op een overgang van "L" naar "H"!
Als voorbeeld van het gebruik van deze tester is in figuur 4/7.28-9 getekend hoe men de pennetjes moet verbinden met de Centronics-poort van een PC.

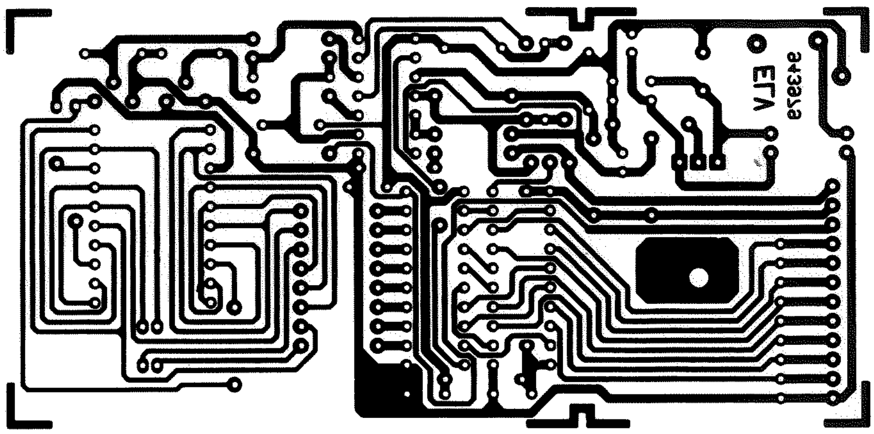
Bouwpakket informatie

Als extra service aan de nabouwers van deze schakeling kan nog vermeld worden dat deze HEX-indicator in diverse onderdelenzaken leverbaar is als compleet bouwpakket. De samenstelling van dit bouwpakket, inclusief de print, het speciale GAL-IC en een profielbehuizing, wordt verzorgd door de firma Binell B.V., Postbus 83, 7440 AB Nijverdal, telefoon 0548-617475, fax 0548-612678. Het bouwpakket wordt geleverd onder de bestelcode 16028. Op het genoemde adres kan men alle nodige informatie krijgen over prijzen en verkoopadressen.



Figuur 4/7.28-9: Het aansluiten van de tester op de uitgangen van de Centronics-poort van een computer.

7.28 Acht bit hexadecimale indicator



Figuur 4/7.28-6: De print van de schakeling.

4/7.29 Laagspanningstester

Inleiding

Met de in dit hoofdstuk beschreven eenvoudige spanningstester kan men ***positieve*** gelijkspanningen tussen 10,0 V en 14,5 V in stappen van 0,5 V meten. De uitlezing gebeurt op een LED-schaal die is samengesteld uit tien LED's. Het apparaatje is dus bijzonder robuust en bestand tegen mechanische belastingen die een draaispoelmeter naar de eeuwige jachtvelden zouden sturen. Omdat de meter geen eigen voeding heeft, maar zijn voedingsspanning en -stroom onttrekt aan het te meten signaal, kan het geheel in een handige meetpen ingebouwd worden.

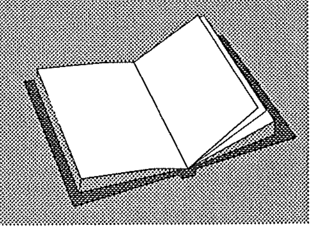
Deze methode van voeding heeft natuurlijk als nadeel dat de ingangsimpedantie van de meter bijzonder laag is, ongeveer 1,2 kΩ. De meter verbruikt ongeveer 10 mA stroom en deze stroom moet geleverd kunnen worden door het punt waarop men de spanning wil meten.

Een en ander maakt duidelijk waarvoor dit meetapparaat in hoofdzaak ontwikkeld is: voor het meten van de voedingsspanning op diverse punten in auto's en aanverwante rijdende, varende of vliegende objecten. Het boordcircuit is daar immers bijzonder laagohmig dank zij de lage inwendige weerstand van de accu en een meetbelasting van 10 mA zal niets veranderen aan de waarde van de gemeten spanningen. Bovendien is het meetbereik van het apparaatje volledig aangepast aan het werkbare spanningsbereik van een 12 V accu.

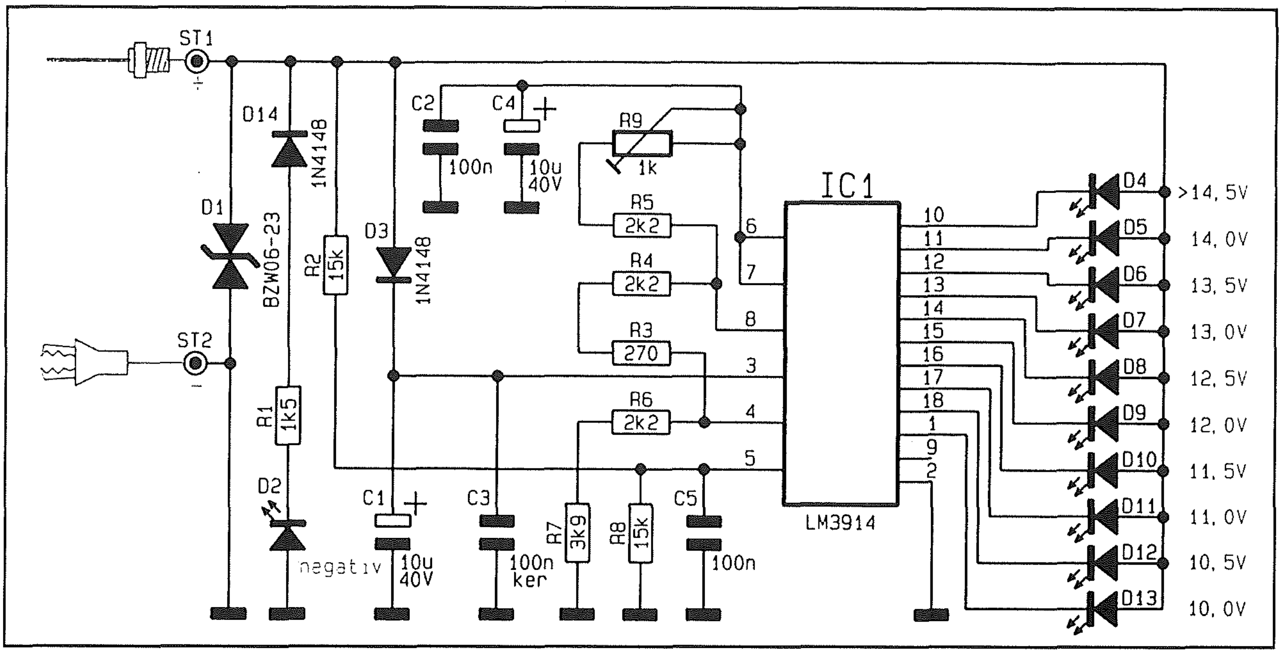
De schakeling

De volledige schakeling is getekend in figuur 4/7.29-1. Hart van de schakeling wordt gevormd door de bekende LM3914 van NatSemi. Met dit IC kan een thermometerschaal, bestaande uit tien LED's, op een eenvoudige manier aangestuurd worden. In dit IC zijn tien comparatoren aanwezig en een laddernetwerk, samengesteld uit tien weerstanden van 1 kΩ (figuur 4/7.29-2). Alle knooppunten van de weerstanden gaan naar de niet-inverterende ingangen van de comparatoren. Alle inverterende ingangen gaan naar de ingang van het IC. Door het laddernetwerk aan te sluiten tussen twee referentiespanningen kan men de grootte van de te meten ingangsspanning verdelen in tien "partjes", die ieder een bepaalde LED aan het branden brengen.

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/8.1.4
Hoofdstuk 6/6.9



7.29 Laagspanningstester

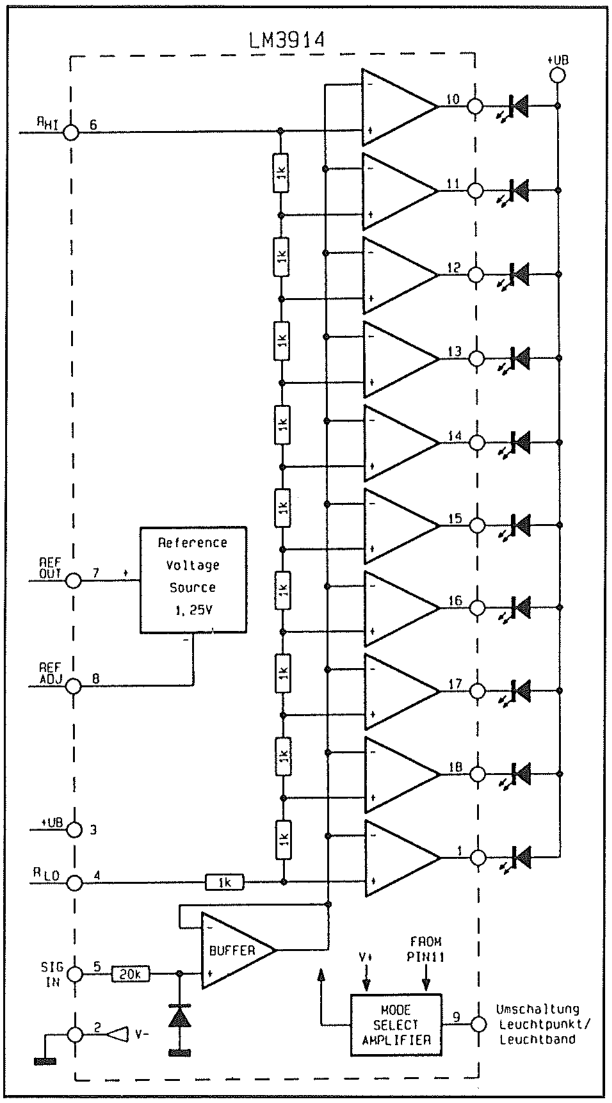


Figuur 4/7.29-1: Het volledig schema van de spanningstester.

Hoe groter de ingangsspanning wordt, hoe meer comparatoren immers omklappen. Dank zij een ingebouwde logicaschakeling, niet getekend in het blokschema van figuur 4/7.29-2, zal telkens slechts één LED worden aangestuurd.
De spanning die wordt aangesloten op pen 4 bepaalt bij welke ingangsspanning de onderste LED gaat branden. Op dezelfde manier bepaalt de spanning op pen 6 bij welke ingangsspanning de bovenste LED gaat branden. Door het aanpassen van deze twee referentiespanningen kan men dus het bereik van het apparaatje instellen. Beide referenties kunnen worden afgeleid van de uitgangsspanning op pen 7. In het IC is namelijk een zeer stabiele referentiegenerator aanwezig, die op pen 7 een constante spanning van 1,25 V genereert. Door het opnemen van een weerstandsdeler tussen de pennen 7 en 8 kan men de grootte van deze interne referentiespanning variëren.
Zoals uit het schema van figuur 4/7.29-1 blijkt, is tussen de massa en de pennen 4, 7, 8 en 6 een weerstandsdeler aangesloten. De weerstanden zijn zo gedimensioneerd, dat het bereik van de schaal wordt ingesteld tussen 10 V en 15 V.
De rest van het schema is uitermate eenvoudig opgezet. De te meten ingangsspanning wordt via de diode D3 aangesloten op de voedingspen 3 van het IC. De diode zorgt ervoor dat het IC niet kan beschadigen als men een negatieve spanning op de ingang zou zetten. De condensator C1 vlakt de voedingsspanning extra af, waardoor een rustige uitlezing ontstaat.
De ingangsspanning gaat via de spanningsdeler R2/R8 naar de ingangspen van het IC. De condensator C5 zorgt voor afvlakking van de te meten spanning.
Het netwerkje D14, R1 en D2 geeft aan dat er een negatieve spanning op de meetpen staat. De diode D14 gaat dan geleiden en de LED D2 licht op. Zoals reeds geschreven in de inleiding kan de schakeling alleen positieve spanningen meten. Het aansluiten van een negatieve spanning heeft echter geen schadelijke gevolgen

7.29 Laagspanningstester

voor de schakeling, omdat deze daar uitgebreid tegen beveiligd is.



Figuur 4/7.29-2: Het intern blokschema van de in de schakeling toegepaste LED-driver LM3914.

Tussen de ingangpen en de massa staat de dubbele zenerdiode D1. Deze beveiligt de meetpen tegen te grote spanningen op de ingang. Wordt deze spanning groter dan ongeveer 23 V, dan gaat een van de in anti-serie geschakelde zener's geleiden, waardoor de ingang wordt kortgesloten naar de massa.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W, 5 %:

R1	=	1,5 kΩ
R2,R8	=	15 kΩ
R3	=	270 Ω
R4,R5,R6	=	2,2 kΩ
R7	=	3,9 kΩ

Instelpotentiometer, PT10, liggend:

R9	=	1 kΩ

Condensatoren:

C1,C4	=	10 µF	40 V elco
C2,C5	=	100 nF	MKH
C3	=	100 nF	ceramisch

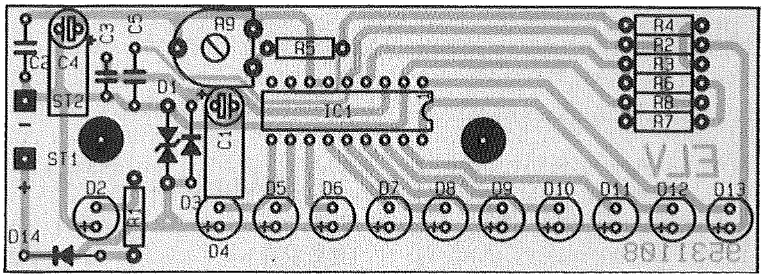
Halfgeleiders:

D1	=	BZW06-23
D2,D4-D13	=	LED 3mm rood
D3,D14	=	1N4148
IC1	=	LM3914

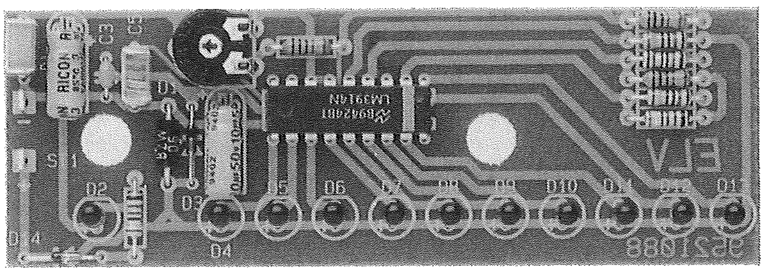
Diversen:
2 x printsoldeerlipje
1 x speciale behuizing voor testkop
1 x krokodil klem
50 cm afgeschermde kabel

De bouw van de schakeling
Alle onderdelen kunnen aangebracht worden op het kleine printje, getekend als figuur 4/7.29-3 op de transparante pagina.
De afmetingen van deze print zijn aangepast aan de inbouw in een speciale meetstift-behuizing, die onder andere door TEKO op de markt wordt gebracht. Als men de schakeling als bouwpakket koopt, wordt een dergelijke behuizing meegeleverd.

7.29 Laagspanningstester



Figuur 4/7.29-4: De componentenopstelling van de meetpen.



Figuur 4/7.29-5: De kompleet gemonteerde print.

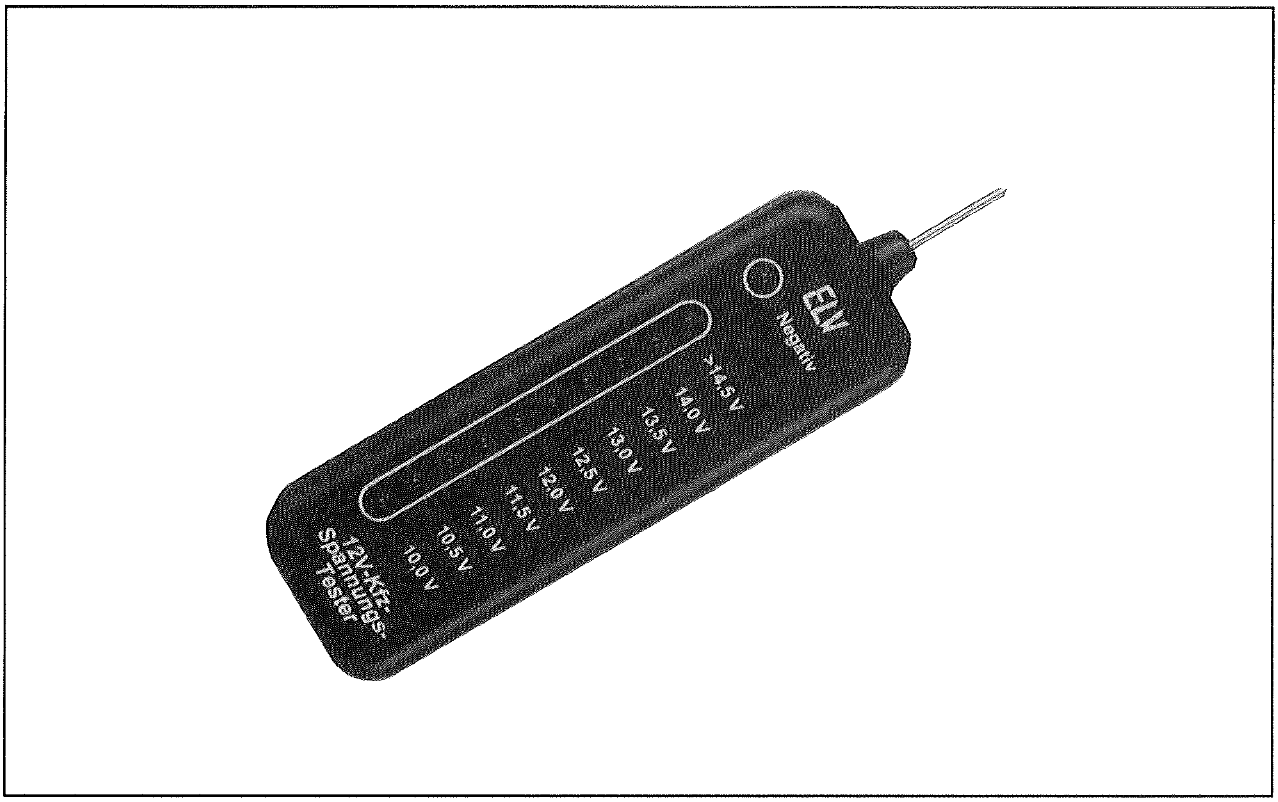
De componentenopstelling is weergegeven in figuur 4/7.29-4. Na het solderen van de weerstanden, de dioden, de condensatoren en het IC komen de LED's aan de beurt. De afstand tussen het oppervlak van de print en de onderzijde van de LED-behuizingen moet precies ingesteld worden op 11 mm. De anoden van de LED's hebben een langere draad dan de kathoden.
Soldeerlipje ST1 wordt door middel van een kort draadje verbonden met de meetstift in de behuizing. De 50 cm lange afgeschermde draad wordt verbonden met ST2. Het is de bedoeling dat binnen ader en afscherming worden getwist en gezamenlijk aan het soldeerlipje worden gesoldeerd. Aan de andere kant van het kabeltje wordt de krokodil klem vast gemaakt.

De foto van figuur 4/7.29-5 geeft een indruk van de volledig gemonteerde print, terwijl figuur 4/7.29-6 de kompleet gemonteerde meetstift, ingebouwd in het standaard kastje, voorstelt.

Afregelen
Alvorens de print in de behuizing wordt gemonteerd, moet men de schakeling afregelen. Men sluit de spanningstester aan op een spanning van precies 12,5 V. Men verdraait de loper van de instelpotentiometer R9 tot de zesde LED gaat branden.

Bouwpakket informatie
Als service aan de nabouwers van deze schakeling kan nog vermeld worden dat deze spanningsmeetpen in onderdelenzaken leverbaar is als compleet bouwpakket.

7.29 Laagspanningstester

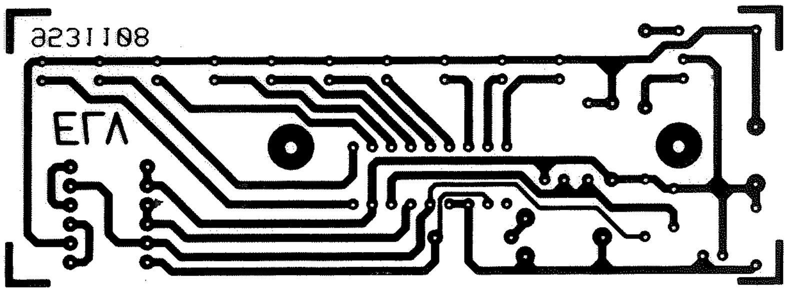


Figuur 4/7.29-6: De meetpen, klaar voor gebruik.

De samenstelling van dit bouwpakket, inclusief de print en de speciale voorgeboorde en bedrukte behuizing, wordt verzorgd door de firma Binell B.V., Postbus 83, 7440 AB Nijverdal, telefoon 0548-617475, fax 0548-612678. Het bouwpakket wordt geleverd onder de bestelcode 13-188-04. Op het genoemde adres kan men alle nodige informatie krijgen over prijzen en verkoopadressen.

7.29 Laagspanningstester

7.29 Laagspanningstester



Figuur 4/7.29-3: De print van de schakeling.

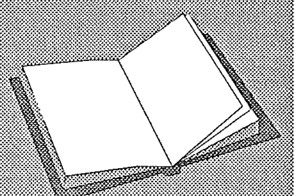
4/7.30

Frequentievermenigvuldiger voor digitale frequentiemeters

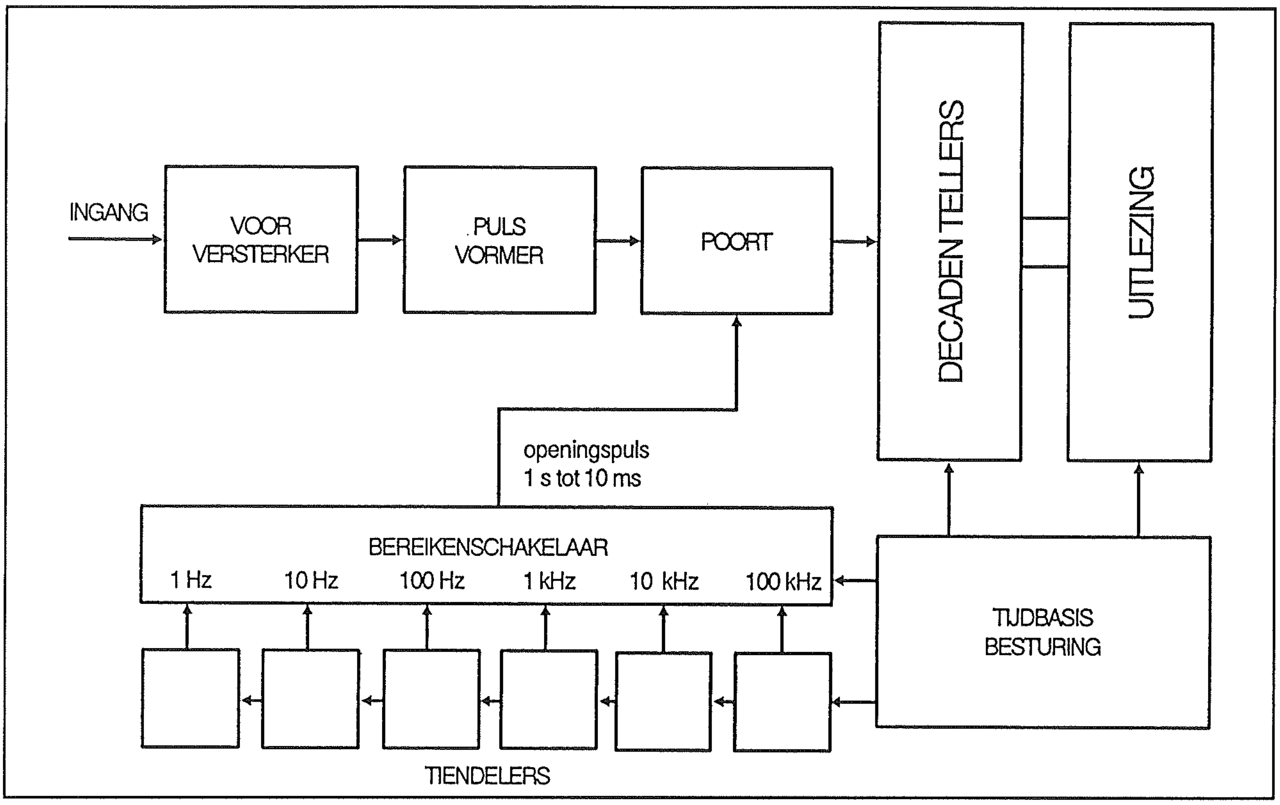
Inleiding

Digitale frequentiemeters zijn per definitie zeer nauwkeurige meetapparaten, voor zover het betreft het meten van hoge frequenties. De nauwkeurigheid neemt echter dramatisch af als men zeer lage frequenties meet. Dat is een rechtstreeks gevolg van het werkingsprincipe van dergelijke apparaten, dat wordt toegelicht aan de hand van het blokschema van figuur 4/7.30-1. Hart van de schakeling is de tijdbasis en besturing. Deze bestaat uit een zeer nauwkeurige kristaloscillator met een frequentie van bijvoorbeeld 1 MHz. Dit signaal wordt toegevoerd aan een aantal in cascade geschakelde frequentiedelers, die uit de kristalfrequentie signalen afleiden met frequenties van respectievelijk 100 kHz, 10 kHz, 1 kHz, 100 Hz, 10 Hz en 1 Hz. Deze mooi symmetrische blokspanningen gaan via de bereikenschakelaar naar een poort. Als de bereikenschakelaar het signaal met een frequentie van 1 Hz doorkoppelt naar de poort, dan zal deze poort gedurende exact één seconde geopend worden. De ingang van de poort wordt voorzien van het ingangssignaal, dat natuurlijk eerst werd voorversterkt en dan omgezet in een mooi digitaal signaal. De uitgang van de poort is verbonden met een aantal decimale tellers, die op hun beurt weer verbonden zijn met de zeven-segment display's van de uitlezing. De besturing zorgt ervoor dat voor de aanvang van een meetcyclus de decimale tellers gereset worden. Nadien wordt de poort gedurende exact één seconde geopend. De ingangspulsen gaan nu naar de ingang van de decimale tellers en deze tellen dus het aantal pulsen dat per seconde binnen komt. Na één seconde wordt de poort weer gesloten. In de decimale tellers staat nu het aantal pulsen per seconde, met andere woorden de frequentie van het ingangssignaal.
Heeft het ingangssignaal een frequentie van 12.567 Hz, dan zullen er 12.567 pulsen door de decimale tellers geregistreerd worden, een aantal dat na het aflopen van de meetcyclus keurig op de display's wordt getoond. Het zal duidelijk zijn dat de nauwkeurigheid van een dergelijke meting zeer groot is. In feite bepaalt alleen de nauwkeurigheid van de kristaloscillator de nauwkeurigheid van de meter.

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/16.1
Hoofdstuk 3/16.2
Hoofdstuk 4/7.6
Hoofdstuk 4/7.15



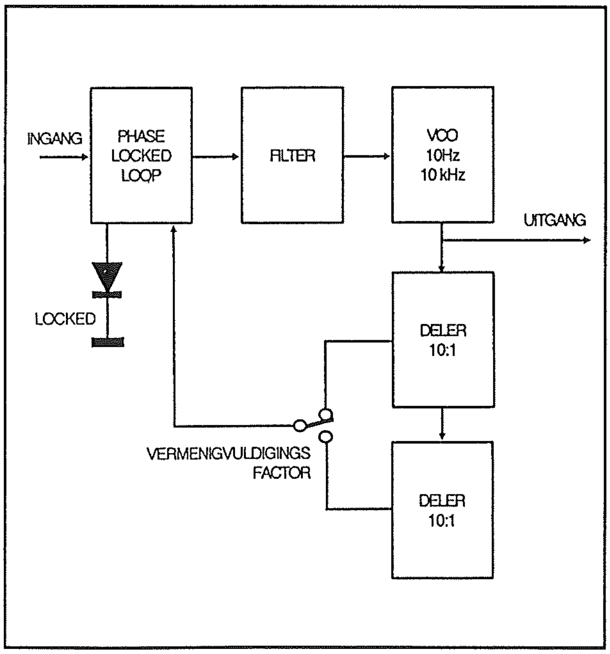
7.30 Frequentievermenigvuldiger voor digitale frequentiemeters



Figuur 4/7.30-1: Het blokschema van een digitale frequentiemeter.

Zeer lage frequenties meten

Anders wordt het als men met een dergelijk apparaat zeer lage frequenties meet. Stel dat aan de ingang een signaal met een frequentie van 5,46 Hz wordt aangeboden. In de meetperiode van één seconde worden dus 5 pulsen geteld en de uitlezing zal “5” aanduiden. Dat betekent dat er op deze meting een fout van ongeveer 10 % zit! De enige methode om de nauwkeurigheid te verhogen is de meetperiode met een factor tien te verlengen. De poort blijft dan tien seconden open en laat in die tijd 54,6 pulsen door. De uitlezing zal dan “54” aanduiden, hetgeen door de decimale punt op de juiste plaats te laten oplichten omgezet kan worden in “5.4”. Nu is de meetfout verlaagd tot iets meer dan 1 %, maar deze methode is vrij onpraktisch omdat iedere meting tien seconde kost.



Figuur 4/7.30-2: Het blokschema van een frequentievermenigvuldiger.

7.30 Frequentievermenigvuldiger voor digitale frequentiemeters

Een alternatief

Een alternatief voor dit probleem is niet de meetperiode te verlengen, maar de frequentie van het ingangssignaal te verhogen. Stel dat men in het besproken voorbeeld er op de een of andere manier zou in slagen de frequentie van het ingangssignaal met een factor 100 te vergroten. Het bewerkte signaal heeft dan een frequentie van 546 Hz. Wordt dit gemeten met een meetperiode van één seconde, dan zullen de display's "546" aanduiden, hetgeen door het plaatsen van de decimale punt om te zetten is naar de juiste waarde "5.46". Deze meting meet dus de frequentie van het ingangssignaal met een absolute nauwkeurigheid.

Het principe van een frequentievermenigvuldiger

Dank zij de moderne elektronica is het helemaal niet moeilijk de frequentie van een bepaald signaal met een factor 10 of 100 te vermenigvuldigen. Het blokschema van een dergelijk systeem is getekend in figuur 4/7.30-2. De te meten ingangsspanning wordt aangeboden aan een ingang van de fase-vergelijker uit een phase locked loop (PLL). De tweede ingang van deze comparator wordt gestuurd uit het in frequentie gedeelde signaal van een spanningsgestuurde oscillator VCO. De fase-comparator levert een signaal af, waarvan de gemiddelde gelijkspanningswaarde een maat is voor de frequentieafwijking tussen beide te vergelijken signalen.

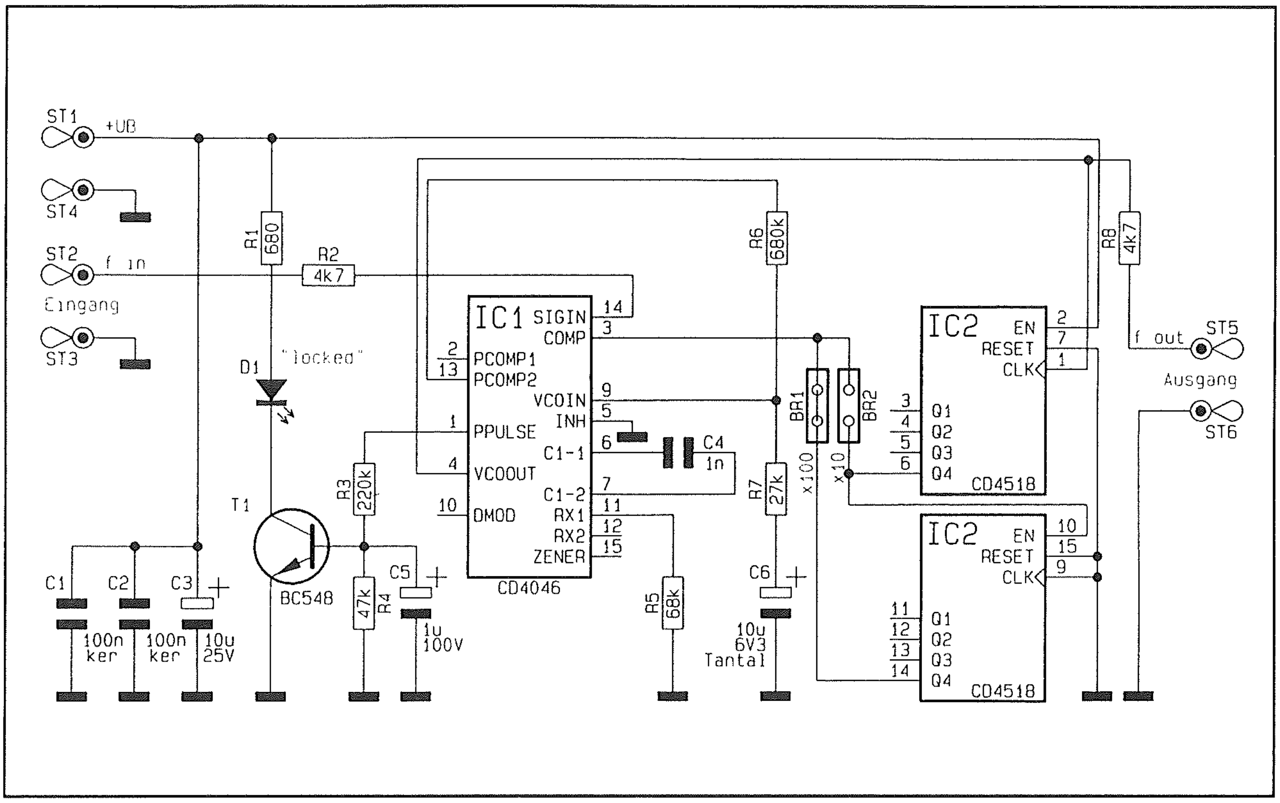
Een voorbeeldje zal de werking van het systeem verduidelijken. Stel dat aan de ingang een signaal wordt aangelegd met een frequentie van 5,46 Hz. De terugkoppeling over het gehele systeem zal er nu naar streven om ook op de tweede ingang van de fase-comparator een signaal met deze frequentie te zetten. Dat signaal wordt geleverd door een of twee frequentiedelers. Stel dat de omschakelaar in de onderste stand staat. Het uitgangssignaal van de onderste deler gaat dan naar de comparator. Het ingangssignaal van deze deler heeft echter een tien keer hogere frequentie, dus 54,6 Hz. Dit signaal komt uit de eerste frequentiedeler, die dus gestuurd wordt met een signaal met een frequentie van 546 Hz. Dit signaal wordt geleverd door de VCO. Hoe het komt dat deze spanningsgestuurde oscillator op precies deze frequentie oscilleert? Omdat de fase-comparator de VCO daar toe dwingt. De comparator vergelijkt immers beide frequenties en stuurt via zijn uitgang de frequentie-bepalende ingang van de VCO. Het systeem is alleen maar stabiel als aan de voorwaarde van de frequentiegelijkheid voldaan wordt.

Tussen de uitgang van de fase-comparator en de ingang van de VCO staat een laagdoorlaat filter. Dit filter is noodzakelijk om de rechthoekvormige pulsen, die de comparator levert, om te zetten in een stuurspanning voor de VCO.

Besluit

Op de uitgang van de schakeling ontstaat een blokvormig signaal, waarvan de frequentie precies gelijk is aan het tien- of honderdvoud van de frequentie van het ingangssignaal, een en ander afhankelijk van de stand van de omschakelaar. Legt men aan de ingang een signaal met een frequentie van 5,46 Hz, dan levert de uitgang een signaal met een frequentie van 546 Hz. Voert men dit signaal toe aan een frequentiemeter met een poorttijd van één seconde, dan zal de meter "546" aanduiden, in plaats van de "5" die hij zou aanduiden als men de frequentievermenigvuldiger niet had voorgeschakeld.

7.30 Frequentievermenigvuldiger voor digitale frequentiemeters



Figuur 4/7.30-3: De volledige schakeling van de frequentievermenigvuldiger.

De frequentievermenigvuldiger verhoogt dus de nauwkeurigheid van een digitale frequentiemeter met een factor tien of honderd als men zeer lage frequenties meet.
De PLL heeft een uitgang, waarop men een LED kan aansluiten. Deze LED gaat branden op het moment dat de schakeling zich heeft "ingelocked". Dit gebeurt op het moment dat het teruggekoppelde systeem er voor heeft gezorgd dat de frequenties van de twee signalen, die aan de fase-comparator worden aangelegd, aan elkaar gelijk zijn. Op dat moment kan men de frequentiemeter aflezen en weet men zeker dat deze meter de juiste frequentie van het ingangssignaal aangeeft.

Het schema

Het volledig schema van deze handige schakeling is getekend in figuur 4/7.30-3.

Centraal element is een CD4046, een PLL uit de CMOS 4xxx-serie. Dit IC bevat een fase-comparator en een VCO. Belangrijkste kenmerken zijn dat het IC een vangbereik van niet minder dan 1/1.000 heeft en dat de fase-comparator pulsvormige signalen van gelijk welke vorm zonder problemen kan verwerken. Het ingangssignaal behoeft dus bijzonder weinig voorbereiding! Het wordt rechtstreeks aangeboden aan één ingang van de comparator en wel op de "SIGIN"-ingang op pen 14. De tweede ingang van de comparator, op pen 3, wordt via een van de printstekkertjes BR1 of BR2 verbonden met een van de uitgangen van de twee frequentiedelers uit IC2.
De uitgang van de fase-comparator (pen 13) gaat naar het laagdoorlaat filter, dat de pulsvormige uitgangsspanning van de comparator moet omzetten in een keuri-

ge stuurspanning voor de VCO. Dit filter is volledig passief opgebouwd en bestaat uit de weerstanden R6 en R7 en de condensator C6. De gelijkspanning, die over de condensator ontstaat, wordt gebruikt als stuurspanning voor de VCO en aan pen 9 aangeboden. De waarden van R6 en C6 leggen de tijdconstante van de regelkring vast, terwijl de waarde van R7 de invangtijd bepaalt. De waarden van deze filteronderdelen zijn tamelijk kritisch, omdat in deze toepassing gewerkt moet worden met een ingangsfrequentie van minimaal 1 Hz. Vanwege de grote tijdconstante, die hiervoor noodzakelijk is, moet de waarde van R6 tamelijk groot zijn. Het is dan ook van het grootste belang dat de toegepaste condensator een zo gering mogelijke lekstroom heeft. Het gebruik van een normale elco is verboden, het is absoluut noodzakelijk hiervoor een tantaal condensator toe te passen.
De rustfrequentie van de VCO wordt vastgelegd door de onderdelen C4 en R5. Op pen 4 treft men het rechthoekvormig uitgangssignaal van de VCO aan, dat rechtstreeks wordt aangeboden aan de telingang van de eerste frequentiedeler uit de CD4518.
Op pen 1 van de CD4046 verschijnt een positieve spanning als het regelsysteem van de PLL de frequentie van de VCO (natuurlijk gedeeld door 10 of door 100) precies gelijk heeft gemaakt aan de frequentie van het ingangssignaal. Dit signaal kan echter geen stroom leveren en vandaar dat tussen deze uitgang en de indicatie-LED D1 een schakeltransistor is tussen geschakeld.
De twee tientellers zijn in cascade geschakeld. Dat betekent dat de D-uitgang van de eerste teller (pen 6) rechtstreeks verbonden is met de CLOCK-ingang van de tweede teller (pen 9). De twee RESET's worden in deze toepassing natuurlijk niet gebruikt en worden op "L" gezet.
Het uitgangssignaal van de VCO gaat via de in serie geschakelde beveiligingsweerstand R8 naar de uitgang van de schakeling. Hier kan een digitale frequentiemeter op aangesloten worden.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W, 5 %:

R1	=	680	Ω	
R2,R8	=	4,7	kΩ	
R3	=	220	kΩ	
R4	=	47	kΩ	
R5	=	68	kΩ	
R6	=	680	kΩ	
R7	=	27	kΩ	

Condensatoren:

C1,C2	=	100	nF	ceramisch
C3	=	10	µF	25 V elco
C4	=	1	nF	MKH
C5	=	1	µF	100 V elco
C6	=	10	µF	6,3 V tant

Halfgeleiders:

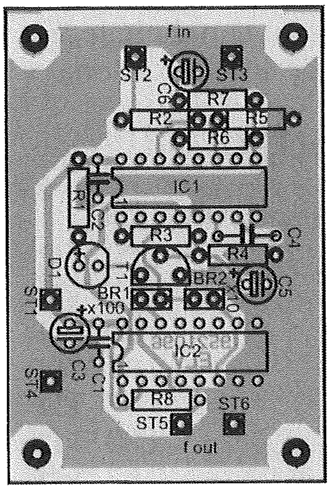
D1	=	LED 3 mm rood
T1	=	BC548
IC1	=	CD4046
IC2	=	CD4518

Diversen:
6 x printsoldeerlipje
2 x printbrug
2 x IC-voetje DIL-16

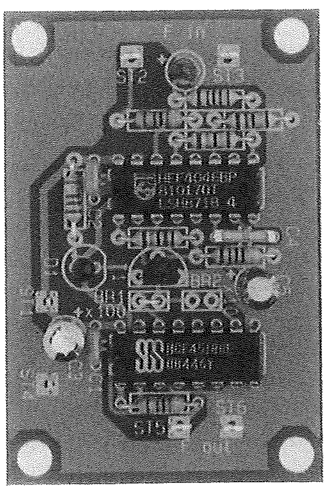
De bouw van de schakeling
Over de bouw van deze kleine schakeling valt in feite niets te schrijven. Het kleine printje wordt voorgesteld in figuur 4/7.30-4 op de transparante printpagina. De componentenopstelling is getekend in figuur 4/7.30-5, een impressie van de

7.30 Frequentievermenigvuldiger voor digitale frequentiemeters

compleet gemonteerde print in figuur 4/7.30-6.



Figuur 4/7.30-5: De componentenopstelling van de schakeling.



Figuur 4/7.30-6: De compleet gemonteerde schakeling, klaar voor inbouw.

Het werken met de schakeling

In de meeste gevallen zal men de frequentie van het ingangssignaal met een factor honderd willen vermenigvuldigen, zodat het noodzakelijk is het printstekkertje BR1 te sluiten. De voeding van de schakeling is niet kritisch, met kan bijvoorbeeld een batterijtje van 9 V gebruiken. Natuurlijk is het ook mogelijk het kleine printje in een bestaande digitale frequentiemeter in te bouwen en de voedingsspanning van minimaal +5 V en maximaal +15 V af te leiden uit de bestaande voeding.
Stelt men het apparaatje als zelfstandige unit in gebruik, dan kan het printje, samen met een eenvoudig voedinkje of de batterij, ingebouwd worden in een klein kastje. De LED wordt dan natuurlijk niet rechtstreeks in de print gesoldeerd, maar op het frontplaatje gemonteerd en met twee draadjes met de print verbonden. De ingang en de uitgang van het printje worden dan met afgeschermde kabel verbonden met twee BNC chassisdelen, zodat de aanwezige meetkabel(s) van de digitale frequentiemeter gebruikt kunnen worden. Het werken met de schakeling is uiterst eenvoudig. Men sluit het te meten signaal aan op de ingang en verbindt de uitgang met de ingang van de digitale frequentiemeter. Op het moment dat de LED dooft kan men de frequentie van het ingangssignaal op het display van de meter aflezen. Natuurlijk geeft de meter de honderdvoudige frequentie aan, zodat men de afgelezen waarde door 100 moet delen om de echte frequentie van het ingangssignaal te weten te komen.

Bouwpakket informatie

Als extra service aan de nabouwers van deze schakeling kan nog vermeld worden dat deze frequentievermenigvuldiger in diverse onderdelenzaken leverbaar is als

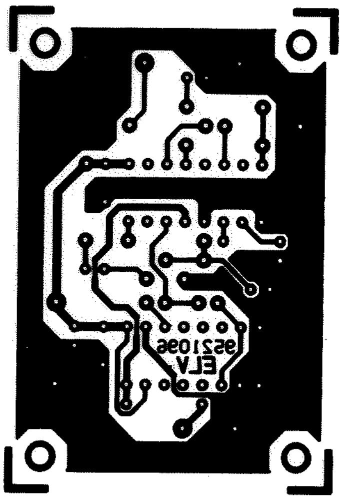
7.30 Frequentievermenigvuldiger voor digitale frequentiemeters

compleet bouwpakket. De samenstelling van dit bouwpakket, inclusief het printje, wordt verzorgd door de firma Binell B.V., Postbus 83, 7440 AB Nijverdal, telefoon 0548-617475, fax 0548-612678.

Het bouwpakket wordt geleverd onder de bestelcode 12-187-17. Op het genoemde adres kan men alle nodige informatie krijgen over prijzen en verkoopadressen.

7.30 Frequentievermenigvuldiger voor digitale frequentiemeters

7.30 Frequentievermenigvuldiger voor digitale frequentiemeters



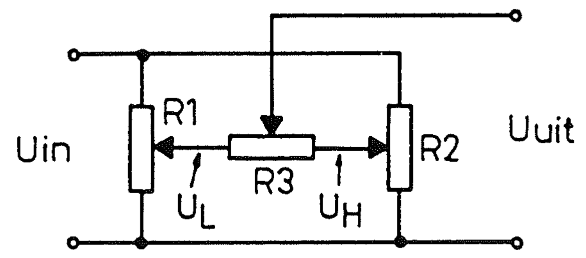
Figuur 4/7.30-4: De print van de schakeling.

4/7.31

Nauwkeurige potentiometer voor referentiespanningen

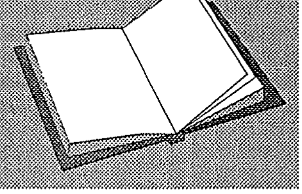
Inleiding
Vaak is het noodzakelijk, bijvoorbeeld bij het afregelen van schakelingen, te beschikken over een zeer preciese gelijkspanning. Bij het afregelen van een analoge of digitale dB-meter, moet men bijvoorbeeld een ijkspanning hebben van precies 0,775 V.
Een spanning tot op 1 mV nauwkeurig instellen door middel van een gewone draaipotentiometer op een voeding lukt echter echt niet! Een 20-slagen potentiometer is natuurlijk niet aanwezig en er zit dus niets anders op dan op een experimenteerprintje een paar instelpotentiometertjes in serie te schakelen en aan te sluiten op de uitgang van een gestabiliseerde voeding.
In dit hoofdstuk wordt een zeer eenvoudig hulpapparaatje beschreven, waarmee men een gelijkspanning desnoods tot op 0,1 mV nauwkeurig kan instellen. Een zeer handig hulpmiddeltje in het laboratorium!

Het principe
Het principe van het apparaatje berust op een ideetje dat ooit in een niet meer te achterhalen tijdschrift werd gepubliceerd. Een gewone spanningsdeler, opgebouwd met een normale potentiometer kan, zoals geschetst in figuur 4/7.31-1, worden vervangen door een combinatie van drie potentiometers: twee identieke potentiometers R1 en R2, verbonden tussen de massa en bijvoorbeeld een voeding en een derde potmeter R3, vele malen groter in waarde en verbonden tussen de lopers van de twee eerste potentiometers. Op de uitgang van de schakeling staat dan een spanning, die gelijk is aan de som van U_L en dat deel van het spanningsverschil U_H-U_L dat bepaald wordt door de plaats van de loper van R3.

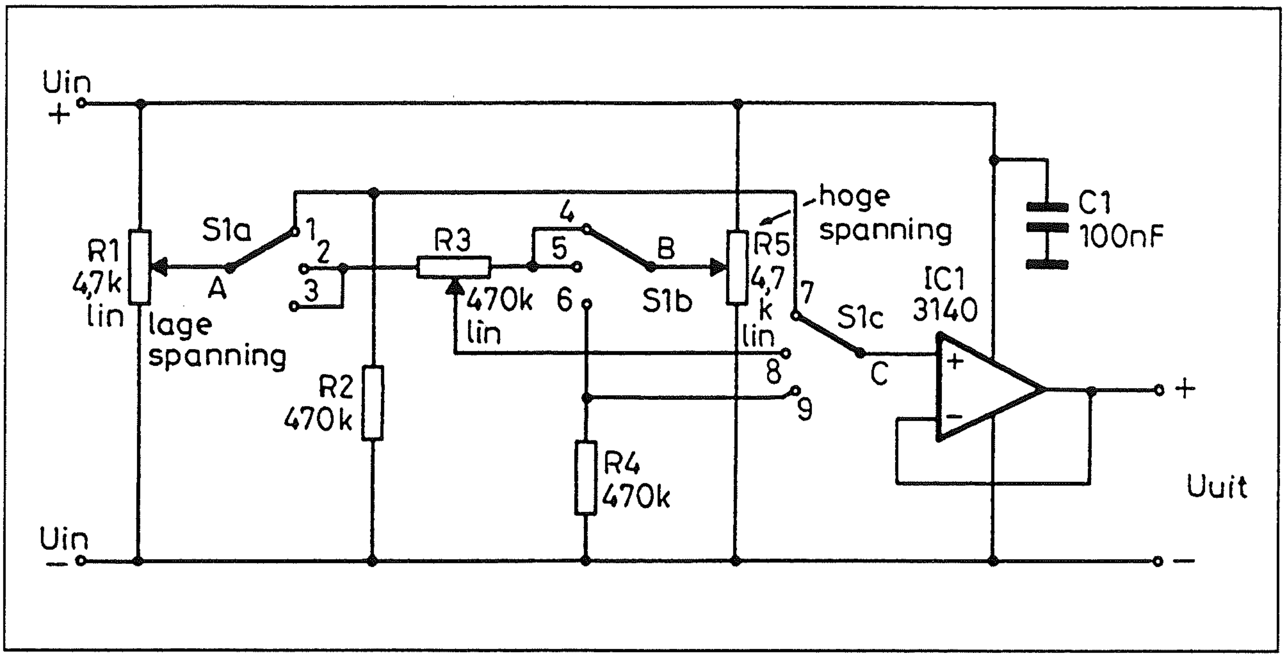


Figuur 4/7.31-1: Het wel zeer eenvoudige idee achter de schakeling.

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/14.10
Hoofdstuk 3/15.8
Hoofdstuk 6/6.19.9



7.31 Nauwkeurige potentiometer voor referentiespanningen



Figuur 4/7.31-2: Het uit het principe afgeleide zeer eenvoudig hulpapparaatje.

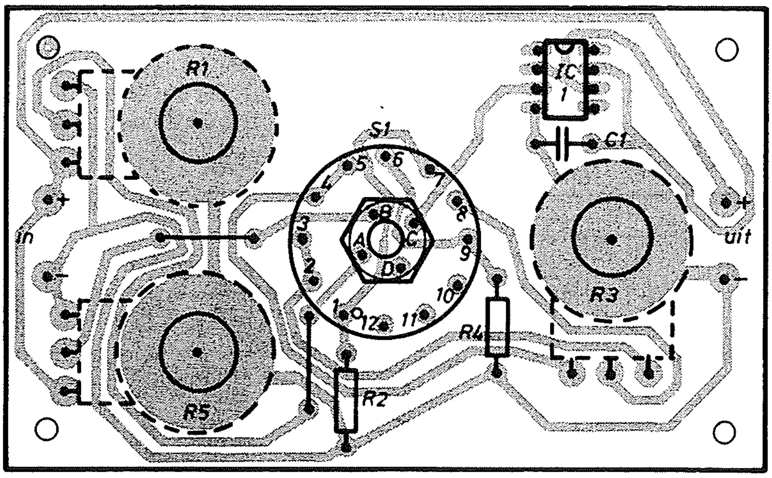
Als U_L iets kleiner wordt gemaakt dan U_H, staat er een zeer kleine spanning over de volledige koolbaan van R3 en kan men met deze derde potentiometer iedere spanning tussen deze twee waarden heel erg nauwkeurig instellen, zelfs met doodgewone draaipotentiometers. Stel dat men een spanning van precies 0,775 V nodig heeft voor het afregelen van een logaritmische omvormer. Men stelt dan potentiometer R1 zo in, dat de spanning op de loper gelijk is aan ongeveer 0,7 V en potentiometer R2 zo in, dat de spanning op zijn loper gelijk is aan ongeveer 0,8 V. Over R3 staat dan een spanning van slechts 100 mV, zodat het heel gemakkelijk mogelijk is om op de uitgang de gewenste waarde te verkrijgen. Voorwaarde is natuurlijk wel dat men de beschikking heeft over een zeer goed gestabiliseerde en zeer stabiele voeding met een verwaarloosbare drift. Maar met de moderne geïntegreerde spanningsstabilisatoren met hun uitstekende eigenschappen mag dat geen probleem zijn.

Praktische schakeling

Het principe is tot een in de praktijk goed bruikbaar apparaatje volgens figuur 4/7.31-2 uitgewerkt. Naast de drie potentiometers heeft men een draaischakelaar nodig met 2x3 standen en een goede operationele versterker om het geheel te bufferen. In de bovenste stand van schakelaar S1 wordt de spanning op de loper van potentiometer R1 via de schakelaarcontacten 1 en 7 aangeboden aan de buffer (IC1) en dus ook aan de uitgang. Op de uitgang verschijnt de hoge spanning U_H, af te regelen met R1. Weerstand R2 vervangt de normale belasting (R3 en R5) van potentiometer R1, zodat het omschakelen van de schakelaar geen merkbare invloed heeft op de grootte van de ingestelde spanning.

In de onderste stand van de schakelaar wordt de spanning op de loper van potentiometer R5 via de contacten 6 en 9 aangeboden aan de uitgang, zodat nu de lage spanning U_L met R5 kan worden ingesteld.

7.31 Nauwkeurige potentiometer voor referentiespanningen



Figuur 4/7.31-4: De componentenopstelling van het printje.

Nu vervangt de weerstand R4 de normale belasting van de loper van R5. In de middelste stand wordt potentiometer R3, de fijnregelaar, door middel van de schakelaarcontacten 2 en 5 tussen de lopers van potentiometers R1 en R5 geschakeld en gaat de loper van dit onderdeel via schakelaarcontact 8 naar de buffer en naar de uitgang. Dank zij de omschakelaar kan men dus op een heel gebruikersvriendelijke manier eerst de hoge grensspanning, dan de lage grensspanning en tot slot de gewenste spanning instellen. Het enige extra onderdeel is de condensator C1, geschakeld tussen de ingangsspanning en de massa. Deze zorgt voor het ontkoppelen van deze spanning en verhindert eventuele oscilleerneigingen van de operationele versterker.

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W, 5 %:
R1,R4 = 470 kΩ

Potentiometers, draai, lineair:
R1,R5 = 4,7 kΩ
R3 = 470 kΩ

Condensator:
C1 = 100 nF MKH

Halfgeleider:
IC1 = CA3140

Diversen:
1 x draaischakelaar 4x3 standen
3 x knop voor potentiometer
1 x knop voor draaischakelaar
4 x soldeerlipje
1 x IC-voetje, 8-pens

De bouw van de schakeling

Figuur 4/7.31-3 op de transparante pagina toont het printontwerpje voor de schakeling, terwijl figuur 4/7.31-4 de componentenopstelling openbaart.
Voor schakelaar S1 wordt natuurlijk een 4x3-standen Lorlin-type gebruikt met printcontacten. Twee secties blijven dan ongebruikt. De drie potentiometers worden met hun behuizing aan de koperzijde van het printje gemonteerd, de as wordt op de componentenzijde vast geschroefd, de contacten worden naar binnen gebogen en vast gesoldeerd op de printgaatjes.

7.31 Nauwkeurige potentiometer voor referentiespanningen

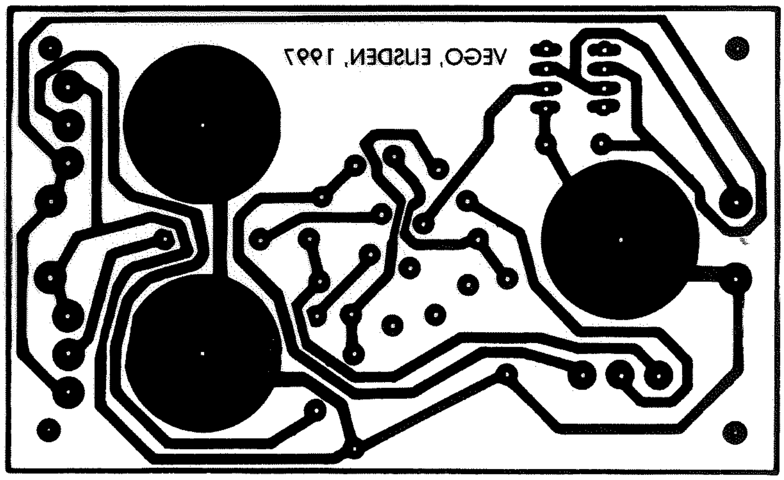
Tip's voor het gebruik

Het regelgebied van het apparaatje wordt volledig bepaald door de eigenschappen van de toegepaste operationele versterker.

- De maximale ingangsspanning is, bij gebruik van een CA3140, 36 V.
- De maximaal instelbare uitgangsspanning wordt door de uitgangstrap van deze opamp begrensd op een waarde die ongeveer 3 V lager is dan de ingangsspanning. De CA3140 regelt echter zijn uitgang wél volledig tot 0 V.

Het is ook mogelijk negatieve referentiespanningen in te stellen of rond de 0 V te werken. De twee ingangen worden dan aangesloten op symmetrische voedingsspanningen (bijvoorbeeld +/-12 V) en de uitgang levert ten opzichte van de gemeenschappelijke massa van beide voedingen naar keuze een positieve of negatieve spanning. Als men bijvoorbeeld de lage spanning U_L instelt op -1 V en de hoge spanning U_H op +1 V, dan kan men met de potentiometer R3 de uitgangsspanning tussen deze grenzen variëren.

7.31 Nauwkeurige potentiometer voor referentiespanningen



Figuur 4/7.31-3: De print van de schakeling.

4/7.32

Universeel meetapparaat voor de hobby-service

Inleiding

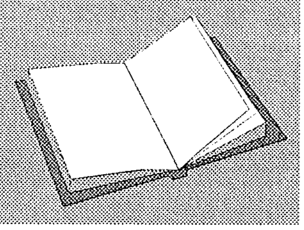
Veel in één

Meetapparatuur en de hobby-elektronicus, het blijft behelpen! Meetapparatuur is nog steeds duur en wie alle kanten uit wil heeft een voeding, een universeelmeter, een componententester, een laagfrequent generator en een oscilloscoop nodig. Toch nog steeds een investering van duizenden gulden! Doet men te weinig aan de elektronica-hobby om de aanschaf van dure meetapparatuur te rechtvaardigen, dan is het in dit hoofdstuk beschreven "Universeel meetapparaat voor de hobby-service" misschien dé oplossing. Ga maar na! In een klein kastje vindt men:

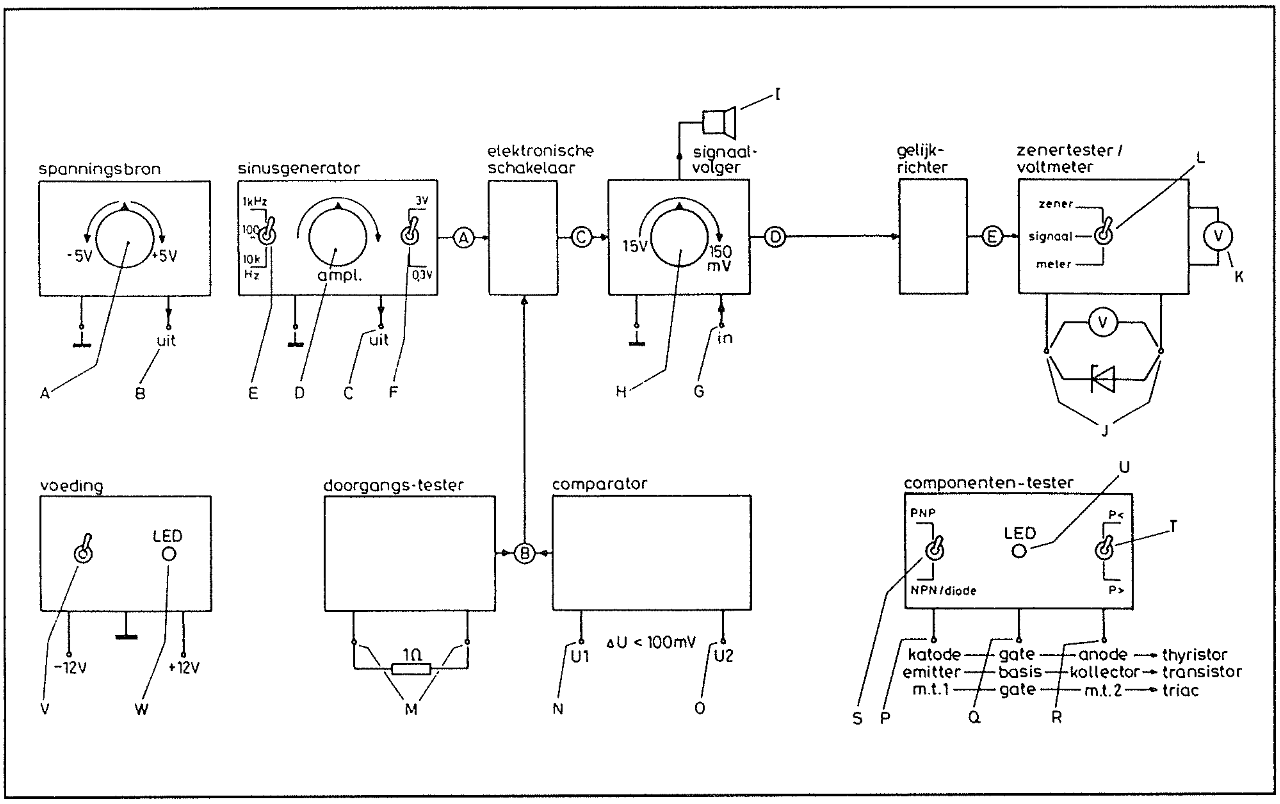
- een zeer nauwkeurige en stabiele regelbare hulpspanning van +5 V tot -5 V;
- een sinusgeneratortje met frequenties van 100 Hz, 1 kHz en 10 kHz, instelbaar in waarde tussen 0 en 0,3 V en tussen 0 en 3 V;
- een signaalvolger met een 1 W eindversterkertje en een ingebouwde luidspreker;
- een voltmeter voor wisselspanningen in het audio-frequente gebied met geijkte meetbereiken van 150 mV en 15 V;
- een voltmeter voor gelijkspanningen met een bereik van 15 V;
- een zenertester voor zenerdioden tot 15 V;
- een universele componententester, die een goed/fout indicatie geeft en bruikbaar is voor PNP- en NPN-transistoren, dioden, thyristoren en triac's;
- een doorgangstester, die in de luidspreker een piepje opwekt als de weerstand tussen beide ingangen kleiner is dan 1 Ω;
- een comparator, die een piepje opwekt als de spanningen op de twee ingangen binnen +/-100 mV aan elkaar gelijk zijn en waarmee men dus erg snel kan onderzoeken of bijvoorbeeld alle voedingsaansluitingen van een print ook werkelijk op voedingspotentiaal staan.

Kortom, een heleboel nuttige en handige meetmogelijkheden, die maar zelden in één apparaat verenigd aangetroffen worden. Men kan zelfs zonder meer stellen dat dit ontwerp vrij uniek is!

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/8.2.6
Hoofdstuk 3/8.10.7
Hoofdstuk 3/12.5
Hoofdstuk 3/12.8
Hoofdstuk 4/7.13



7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



Figuur 4/7.32-1: Het volledig blokschema van het universeel meetapparaat, met alle bedieningselementen en alle in- en uitgangen.

Hoewel het idee van dit meetapparaat oeroud is (het proto-type werd in 1985 ontworpen) en het ontwerp door de auteur reeds in datzelfde jaar in het niet meer bestaande tijdschrift "Electronica ABC" van uitgeverij "De Muiderkring" werd gepubliceerd, is het meer dan de moeite waard nieuwe generaties elektronica-hobbyisten de mogelijkheid te bieden dit zeer nuttig apparaatje na te bouwen. Echter, dit nabouwproject is zeker niet in één uurtje in elkaar is solderen. Integendeel, de complete schakeling bevat niet minder dan 8 transistoren en 15 IC's! Dat is echter geen probleem. Alle deelschakelingen staan los van elkaar en zijn op zich erg eenvoudig en recht-toe-recht-aan: er kan nauwelijks iets mis gaan.

Er werd bij het ontwerpen van het geheel bewust geprobeerd zoveel mogelijk goedkope, vertrouwde en zeer bekende onderdelen in het schema toe te passen. Bovendien zijn alle onderdelen, dus ook schakelaars en in- en uitgangen rechtstreeks op de print te solderen en voor wie handig is met de soldeerbout staat een gegarandeerd suksesvolle nabouw dan ook vast.

Het blokschema

Het blokschema van dit universeel meetapparaat is getekend in figuur 4/7.32-1. Op deze tekening zijn alle in- en uitgangen en alle bedieningselementen benoemd, zodat dit blokschema meteen ook een soort gebruikshandleiding van het apparaat is.

Bespreking van alle functies

De spanningsbron

De spanningsbron wekt uit de hoofdvoeding van het apparaat, +/-12 V, een zeer temperatuurstabiele spanning op, die door middel van potentiometer A instelbaar is tussen +5 V en -5 V en op stekerbus B ten opzichte van de massa beschikbaar is.
Deze hulpspanning heeft een maximale temperatuurdrift van slechts een paar mV, heeft een maximale brom- en ruisspanning van slechts 1 mV en is belastbaar tot ongeveer 100 mA positief of negatief. Uiteraard is de uitgang kortsluitvast. Deze spanningsbron kan dus gebruikt worden voor het voeden van kleine schakelingetjes maar, veel belangrijker, is ook uitermate geschikt voor het genereren van zeer nauwkeurige instel- en afregelspanningen.

De sinusgenerator

De sinusgenerator heeft drie bedieningselementen. Op de eerste plaats de ***driestanden*** tuimelschakelaar E, waarmee de frequentie van de sinus instelbaar is op 100 Hz (middenstand), 1 kHz (schakelaar naar boven) of 10 kHz (schakelaar naar onderen). Met de omschakelaar F kan men de maximale uitgangsspanning kiezen: 3 V of 300 mV. Uiteraard is de amplitude tussen 0 en het genoemde maximum instelbaar en wel met potentiometer D. De sinus staat ter beschikking op stekerbus C.
De vervorming op het uitgangssignaal is vrij hoog, ongeveer 1 %, maar dat is voor de meeste praktische toepassingen geen bezwaar.

De elektronische schakelaar

Dit is een blok met alleen maar een interne functie en dus zonder bedieningsorganen of in- en uitgangen. Hij zorgt ervoor dat de interne sinus op de juiste momenten als waarschuwingssignaal op de in de signaalvolger ingebouwde luidspreker ten gehore wordt gebracht. Deze schakelaar schakelt de sinusspanning door naar de versterker van de signaalvolger als er uit de doorgangstester of de comparator een stuurpuls B komt. Met dit blok wordt dus het piepje opgewekt, waarvan in de inleiding sprake was.

De signaalvolger

Met dit blok kan men de weg van de door de sinusgenerator gegenereerde signalen door een schakeling volgen.
Op deze manier is men in staat allerlei soorten defecten op te sporen. De versterkingsfactor van deze schakeling is instelbaar met potentiometer H. Het signaal dat aan de ingang G wordt aangevoerd wordt versterkt en door luidsprekertje I hoorbaar gemaakt. De versterker is tamelijk gevoelig: in de gevoeligste stand van H levert een ingangssignaal van slechts 250 $mV_{effectief}$ een vermogen van 1 W aan de luidspreker. Op het frontpaneeltje van het apparaat zijn rond potentiometer H twee schalen aangebracht: 15 V en 150 mV. Deze hebben niets te maken met de gevoeligheid van de signaalvolger, maar alles met het feit dat de signaalvolger en de voltmeter voor wisselspanningen tot één blok gecombineerd zijn.

De voltmeter voor wisselspanningen

De voltmeter voor wisselspanningen is bedoeld om snel de effectieve waarde van sinusspanningen in het frequentiebereik van 20 Hz tot 20 kHz te kunnen meten,

bijvoorbeeld voor het bepalen van het uitgangsvermogen van een versterker of voor het instellen van een versterkingsfactor van een trap. Men zou verwachten dat een dergelijk blok dus een bereikenomschakelaar zou hebben. Dit is echter niet het geval! Omdat er in het kastje geen plaats was voor meer bedieningselementen werd de wisselspanningsvoltmeter gecombineerd met de signaalvolger. De potentiometer van de signaalvolger is ook de bereikenomschakelaar voor de wisselspanningsmeter. Draait men de potentiometer van de signaalvolger volledig in uurwijzerzin, dan is de gevoeligheid van de voltmeter ingesteld op 150 mV volle schaal. Zet men de potentiometer volledig in tegenuurwijzerzin, dan is het bereik van de voltmeter ingesteld op 15 V volle schaal. De voltmeter stuurt zijn uitgangssignaal naar een klein draaispoelinstrumentje en via deze zeer originele manier van het instellen van het meetbereik kan men LF-signalen tussen 10 mV en 15 V toch nog vrij nauwkeurig meten. Uiteraard wordt het signaal ook nu toegevoerd op stekerbus G. Het signaal C, afkomstig van de elektronische schakelaar, wordt niet naar de gelijkrichter gevoerd. Wel is het natuurlijk zo dat het signaaltje dat met de voltmeter wordt gemeten ook hoorbaar is in de luidspreker van de signaalvolger. Dat zal in de praktijk in de meeste gevallen echter absoluut geen bezwaar zijn, wel integendeel!

De zenertester en voltmeter voor gelijkspanningen

Dit blok heeft een ***driestanden*** tuimelschakelaar L, twee ingangsbussen J en een 15 V draaispoelmetertje K. In de middenstand van de schakelaar (SIGNAAL) wordt de meter verbonden met de uitgang van de gelijkrichter en meet de meter de op stekerbus G aangesloten wisselspanning. In de onderste stand van de schakelaar (METER) is de voltmeter verbonden met de twee bussen J. De meter meet nu de gelijkspanning, die tussen deze bussen staat in een bereik van 0 tot 15 V. In de derde stand van schakelaar L (ZENER) kan men de spanning meten van een tussen J aangesloten zenerdiode. Ook dit meetbereik loopt van 0 tot 15 V. Weliswaar gaan zenerdioden niet zo vaak stuk, maar de op het glazen lichaam gedrukte code vervaagt zeer snel en het is dus zeer handig om even snel de zenerspanning van zo'n onleesbaar geworden diode te kunnen nameten.

Ook dit blok is dus ingenieus opgezet en verenigt drie zeer praktische meetmogelijkheden.

Belangrijke opmerking

Een belangrijke opmerking over de meterschakeling. Tot nu toe zijn alle in- en uitgangsspanningen ten opzichte van de massa van het apparaat gerefereerd. Bij dit blok is dat echter niet het geval. De met "-" aangegeven stekerbus J ligt intern aan de -12 V voedingsspanning en zener- en gelijkspanningen worden dan ook ten opzichte van de interne -12 V gemeten. In de praktijk komt dit er op neer dat, bij het meten van gelijkspanning, de massa van het apparaat niet met de massa van de te testen schakeling mag worden verbonden! Alleen de twee bussen J gaan naar de schakeling waarin gemeten wordt. Natuurlijk mag één van de klemmen J dan wel met de massa van de te testen schakeling worden verbonden. In de praktijk merkt men dus eigenlijk niets van deze eigenaardigheid van de schakeling. Een stelregel, dus: bij het meten van gelijkspanning, massaverbinding tussen meetapparaat en te testen onderbreken! Waar-

om die eigenaardigheid is ingebouwd? Om de nabouwer een vervelend werkje te besparen! De meetbereiken 150 mV en 15 V voor wisselspanning en 15 V voor gelijkspanning zijn natuurlijk niet zo maar gekozen. Een meetbereik van 15 V voor gelijkspanningen is zonder meer duidelijk. De meeste schakelingen worden met +9 V, +/-12 V of +/-15 V gevoed en al deze waarden zijn goed afleesbaar op een 15 V schaal. Het meetbereik van 150 mV voor wisselspanningen is ideaal voor het meten in voorversterkers, uitgangen van tuners, etc. Met het 15 V bereik voor wisselspanningen kan men in eindversterkers tot 50 W terecht. Nu had de ontwerper een 1 mA metertje als basis kunnen gebruiken en deze door middel van geschikte voorschakelweerstanden aanpassen aan de meetbereiken. Dan had dit metertje tussen de massa en de ingang gestaan. Maar dan was het noodzakelijk geweest dat de aanwezige schaalindeling van 0 mA tot 1 mA vervangen werd door een nieuw schaaltje met een indeling tussen 0 V en 15 V respectievelijk 0,15 V. Het valt niet mee om dat netjes te doen! Vandaar dat is gekozen voor een draaispoelvoltmeter van 15 V als basis. De aanwezige schaalindeling is dan zonder meer bruikbaar. Nu worden alle interne schakelingen van het apparaat gevoed uit +/-12 V en tussen de massa en gelijk welk punt van de schakelingen kan dus nooit meer dan 12 V staan. Vandaar dat de meter niet aan massa ligt, maar aan de -12 V. De meter wijst dan 15 V aan bij een spanning van +3 V op de tweede meteringang en deze spanning valt binnen het werkbare bereik van de schakelingen.

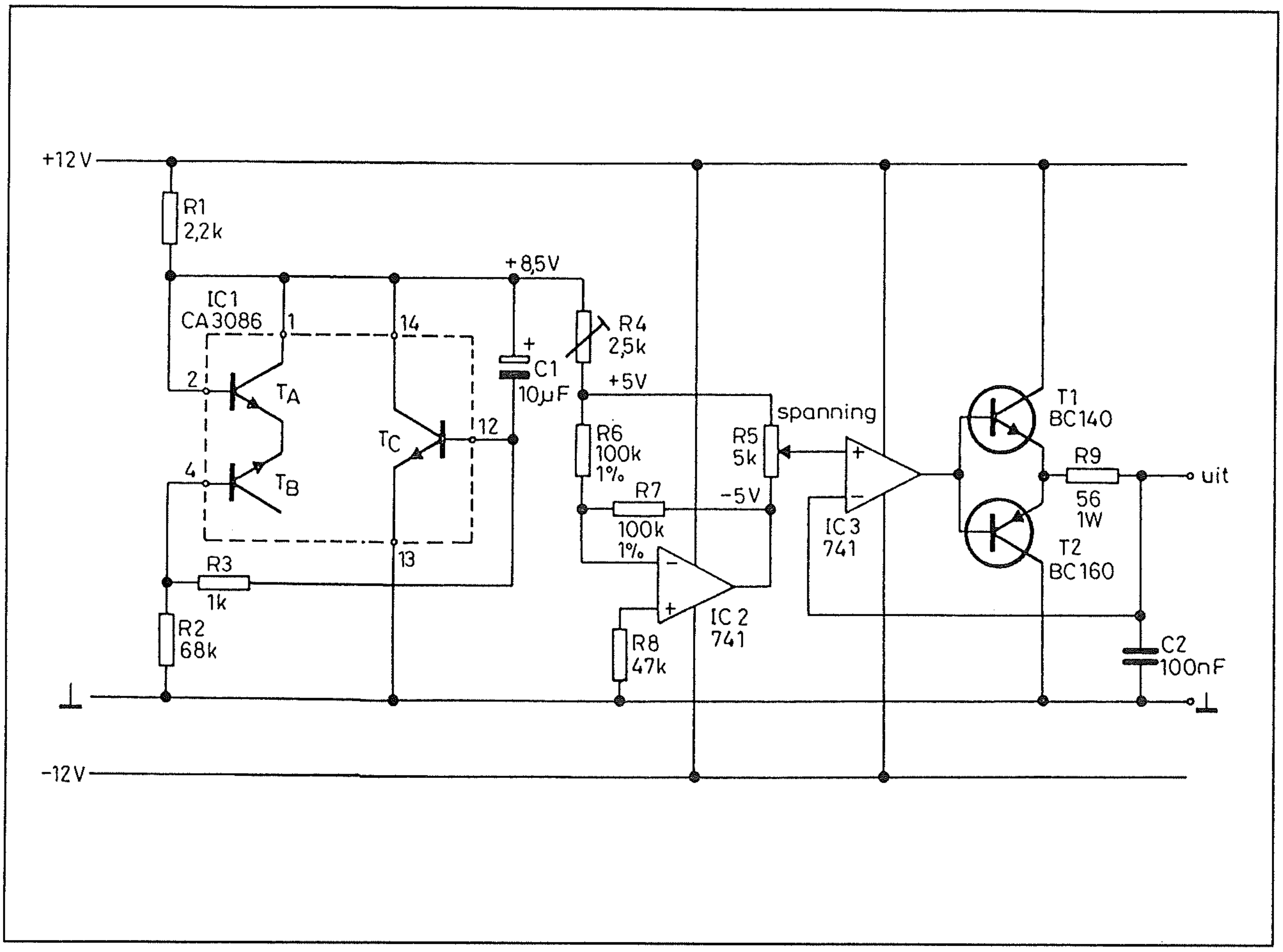
De doorgangstester

Dit blokje heeft twee ingangen M en als tussen deze klemmen een weerstand van minder dan 1 Ω wordt aangesloten zal de schakeling de elektronische schakelaar openen en een piep in de luidspreker veroorzaken.
Ook dit blok is erg handig: men kan bijvoorbeeld onderbrekingen in printsporen opzoeken, de aansluitingen van een relais bepalen en kabels/connectoren doorpiepen.

De comparator

Als men geconfronteerd wordt met een schakeling die niet werkt zal men in de meeste gevallen eerst gaan onderzoeken of alle transistortrappen en IC's wel met de voeding verbonden zijn en aan de massa liggen. Tot nu toe was dat een vervelende klus: meetpen van een universeelmeter op de juiste aansluiting van het IC zetten, ogen opslaan naar de meterschaal, pen naar tweede IC en zo verder met als groot gevaar dat, tijdens het aflezen van de meter, een kortsluiting wordt veroorzaakt doordat de meetpen van de IC-aansluiting glijdt. Met het comparator-blok gaat het veel makkelijker. Eén stekerbus van de comparator, bijvoorbeeld N, wordt verbonden met de voedingsspanning van de te testen schakeling.
Met de tweede ingang O tast men vervolgens alle punten op de print af, die met deze voedingsspanning verbonden zouden moeten zijn. Is dat het geval, dan piept de luidspreker eventjes. Nadien kan men dezelfde procedure herhalen met de massapunten en eventueel de negatieve voedingspunten. Omdat het elektronisch tamelijk moeilijk is vast te stellen of twee spanningen exact aan elkaar gelijk zijn, heeft de schakeling een ingebouwde drempel van 100 mV. De schakeling geeft dus een goedkeurende piep als tussen N en O minder dan 100 mV spanningsverschil aanwezig is.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



Figuur 4/7.32-2: De praktische schakeling van de instelbare spanningsbron.

De componententester

Het laatste blok van het apparaat stelt schakeltechnisch nauwelijks iets voor, maar is heel handig. De componententester heeft twee omschakelaars. Met de ene (S) kan men de polariteit van het te testen onderdeel bepalen. In de bovenste stand (PNP) kan men PNP-transistoren testen, in de onderste stand (NPN) NPN-transistoren en allerlei soorten stuurbare dioden, thyristoren en triac's. Met de tweede schakelaar (T) kiest men de meetstroom die door anode, collector of MT-2 wordt gestuurd: 20 mA in de stand "P<" en 100 mA in de stand "P>". In de tweede stand wordt bovendien de basis- of gatestroom verhoogd van 200 µA tot 20 mA.

De meetprocedure is als volgt. Met schakelt S en T in de gewenste stand, sluit emitter en collector, kathode en anode of MT1 en MT2 aan op de stekerbussen P en R. De LED U mag nu niet oplichten Vervolgens verbindt men basis of gate met stekerbus Q. Als de transistor, triac of thyristor het nog doet, moet de LED nu wel gaan branden. Bovendien moet hij bij het testen van thyristoren en triac's ook na het verwijderen van de verbinding tussen de gate en stekerbus Q blijven branden.

De interne voeding

De interne voeding levert de +/-12 V voedingspanningen voor de volledige elektronica van het apparaat en wordt op de

frontplaat vertegenwoordigd door de aan-uit schakelaar V en de LED W.

De praktische schakelingen in detail

De spanningsbron

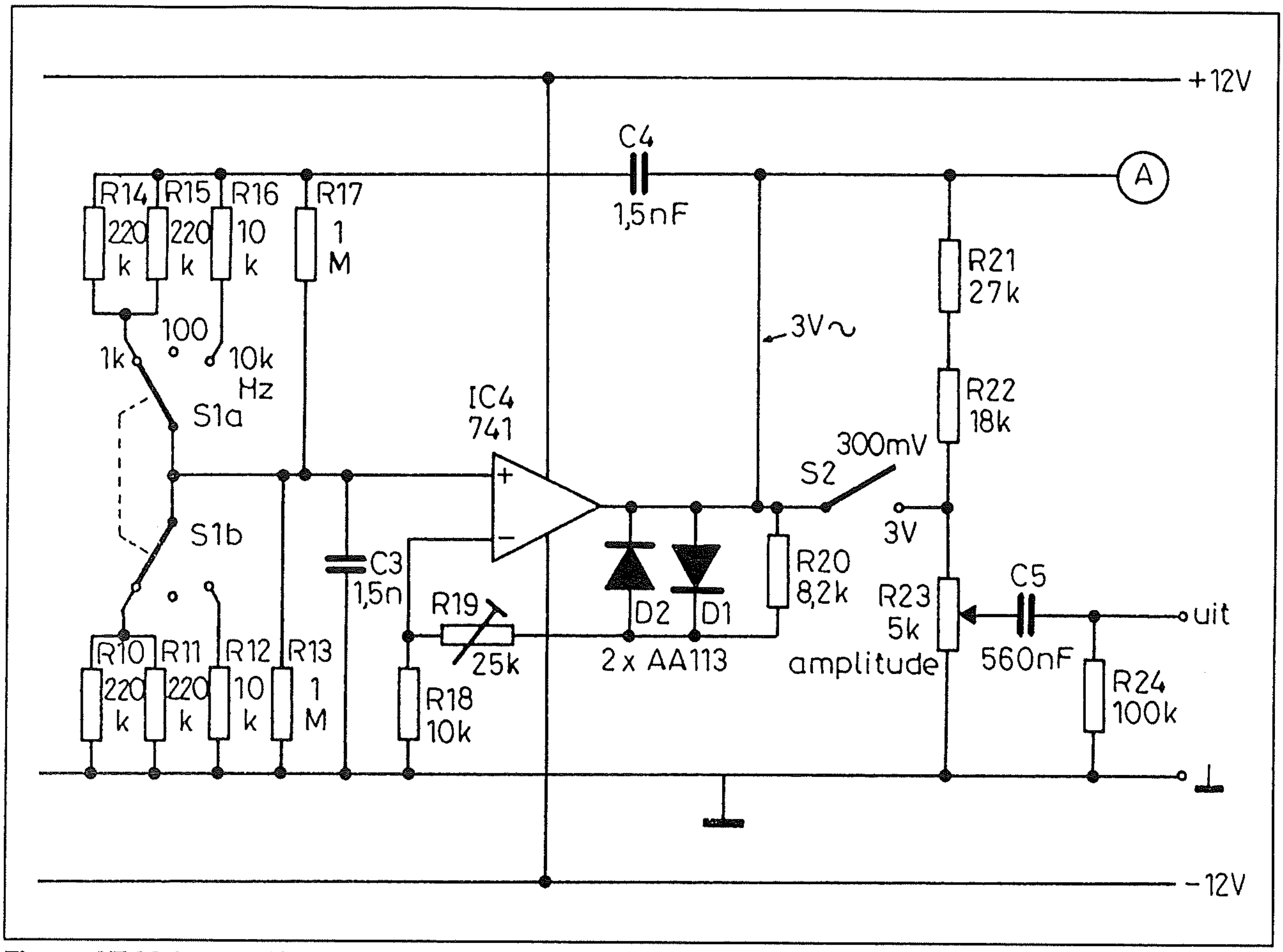
Het praktisch schema van de spanningsbron is getekend in figuur 4/7.32-2. Uit de +12 V systeemvoeding wordt door middel van het transistor-array IC1 een zeer stabiele spanning van ongeveer +8,5 V afgeleid. Dit gaat als volgt. Transistor TA uit het array is geschakeld als siliciumdiode. Men gebruikt de basis-emitter overgang waar, zoals bekend, in geleidende toestand een spanning van ongeveer 0,75 V over terug is te vinden. De tweede transistor TB is geschakeld als zenerdiode. De basis-emitter overgang van deze halfgeleider is invers gepolariseerd, dus met de emitter aan de plus en de basis aan de min.

De basis-emitter overgang gaat zich dan als een zenerdiode van ongeveer 7 V gedragen. Beide onderdelen hebben een bepaald temperatuurscoëfficiënt. Dat wil zeggen dat de spanning gaat variëren als de temperatuur van het IC stijgt of daalt. Omdat de zenerdiode een positieve coëfficiënt heeft (de spanning stijgt als de temperatuur stijgt) en de siliciumdiode een negatieve coëfficiënt vertoont, zal de totale somspanning zo goed als constant blijven bij wisselende temperatuur. De spanning op de collector van TA zal slechts 1,4 mV stijgen per graad temperatuursverhoging of -daling. Nu kan men echter nog verder gaan. Een derde transistor uit het array (TC) wordt als extra stabilisator gebruikt.

De collector-emitter sectie van deze halfgeleider is als belasting over de zenerdiode geschakeld en de stroom door de transistor wordt zo geregeld dat de spanning op de collector zeer stabiel blijft. In de praktijk komt het er op neer dat op de uitgang van IC1 een spanning van ongeveer +8,5 V staat die slechts mV's varieert bij de normale kamertemperatuur schommelingen. Deze spanning wordt in de tweede trap rond IC2 omgevormd in een spanning die men met behulp van de potentiometer R5 kan instellen tussen +5 V en -5 V. De operationele versterker is geschakeld als zeer nauwkeurige inverterende versterker met een versterkingsfactor van exact -1. De negatieve ingang van het onderdeel is door middel van 1 % weerstanden verbonden met de uitgang en met het knooppunt van de potentiometer R5 en de instelpotentiometer R4. De inverterende werking van de operationele versterker zal er voor zorgen dat op de uitgang van de schakeling een spanning staat die in waarde even groot is als de spanning op het genoemde knooppunt, maar wel negatief is. Regelt men dus R4 zo af, dat op het genoemde knooppunt +5 V staat, dan stelt de operationele versterker de spanning op zijn uitgang gelijk aan -5 V. De uitgang is doorverbonden met de onderste aansluiting van de potentiometer. Door de loper te verdraaien kan men dus iedere gewenste spanning tussen +5 V en -5 V aftakken.

De laatste trap rond IC3 is niets anders dan een klein complementair versterkertje, waardoor de spanning op de loper van R5 stroom kan leveren. De negatieve ingang van de operationele versterker is verbonden met de uitgang van de schakeling. De schakeling regelt het spanningsverschil tussen beide ingangen van dit onderdeel op nul.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



Figuur 4/7.32-3: Het schema van de sinusoscillator werkt als brug van Wien.

Stelt men dus met de loper van R5 een spanning van +2,5 V in, dan zal IC3 er voor zorgen dat deze spanning op de uitgangsbus terug is te vinden. De weerstand R9 verzorgt de kortsluitbeveiliging. Wordt de uitgang per ongeluk kortgesloten, dan begrenst deze weerstand de stroom op 200 mA, een waarde die de uitgangstransistoren T1 en T2 zonder problemen kunnen leveren. Deze simpele vorm van stroombegrenzing heeft natuurlijk wel een nadeel. De maximale uitgangsstroom, waarbij de stabilisatieschakeling nog werkt, is slechts 100 mA. Boven deze waarde valt er te veel spanning over R9 en de operationele versterker kan T1 of T2 niet meer voldoende bijsturen.

De sinus-generator

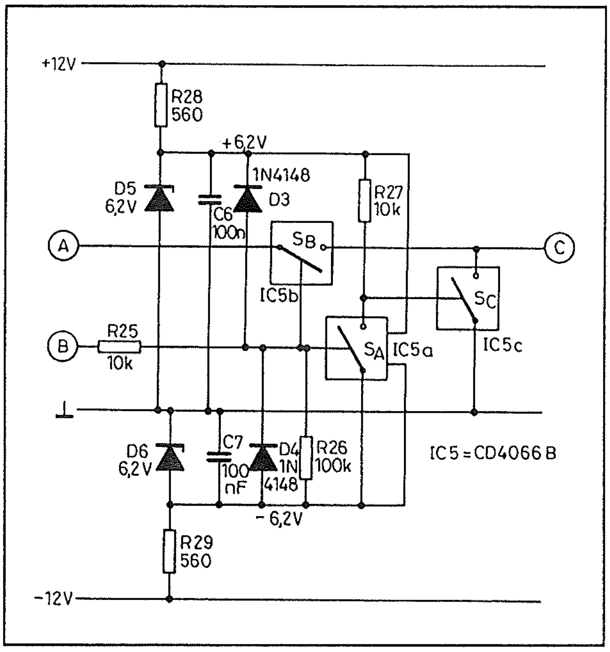
Het schema van de sinusgenerator is getekend in figuur 4/7.32-3. De schakeling is een klassieke brug van Wien-oscillator. Staat de schakelaar S1 in de middenstand, dan wordt de frequentie op 100 Hz vastgelegd door de condensatoren C4 en C3 en de weerstanden R13 en R17. Schakelt men om naar de stand 1 kHz, dan worden de weerstanden overbrugd door R10-R11 en R14-R15. De vervangingsweerstand van de drie parallel geschakelde weerstanden is 100 kΩ, de frequentie wordt dus een factor 10 groter. In de stand 10 kHz overbrugt men de 1 MΩ weerstanden met 10 kΩ (R12 en R16), zodat de frequentie een factor 100 stijgt.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service

De amplitude van de uitgangsspanning wordt gestabiliseerd door middel van de germanium-dioden D1 en D2. Als de uitgangsspanning gaat stijgen, dan zorgen deze dioden ervoor dat een groter deel van de uitgangsspanning wordt teruggekoppeld naar de negatieve ingang. Dioden hebben immers geen constante inwendige weerstand, maar een impedantie die afhankelijk is van de spanning die over de onderdelen staat. Deze spanningsafhankelijke impedantie kan uitstekend worden toegepast in dit soort terugkoppelingen. De versterking van de trap daalt, de stijging wordt tegengewerkt. Door middel van de instelpotentiometer R19 kan men de effectieve waarde van het signaal op de uitgang van de operationele versterker afregelen op 3 V. Zoals reeds geschreven in de inleiding is de vervorming van een dergelijke eenvoudige schakeling relatief hoog, namelijk 1 %, maar voor dit soort toepassingen is dat geen bezwaar. Het instellen van de grootte van de uitgangsspanning gaat eenvoudig. Is S2 gesloten, dan staat de potentiometer R23 tussen de uitgang van de operationele versterker en de massa en kan men het signaal instellen tussen 0 en 3 V. Opent men S2, dan worden de weerstanden R21 en R22 in serie geschakeld met de potentiometer. De som van deze weerstanden is 45 kΩ, over deze weerstanden valt 9/10 van de spanning zodat er 1/10 of 0,3 V over de potmeter ter beschikking staat.

De elektronische schakelaar

Het schema van de elektronische schakelaar is getekend in figuur 4/7.32-4. Op punt A wordt de uitgang van de sinusoscillator aangesloten. Punt C gaat naar de signaalvolger, op punt B wordt het stuursignaal verwacht. De schakelaar is opgebouwd uit drie analoge schakelaars van een CD4066B CMOS-IC. Dit IC mag echter maximaal met 18 V worden gevoed, vandaar dat de twee voedingsspanningen door middel van zenerdioden D5 en D6 worden gereduceerd tot +/-6,5 V. De schakelaars staan open als de stuuringang op -Ub staat en zijn gesloten als de stuurspanning gelijk is aan de positieve voedingsspanning.



Figuur 4/7.32-4: De praktische schakeling van de elektronische omschakelaar.

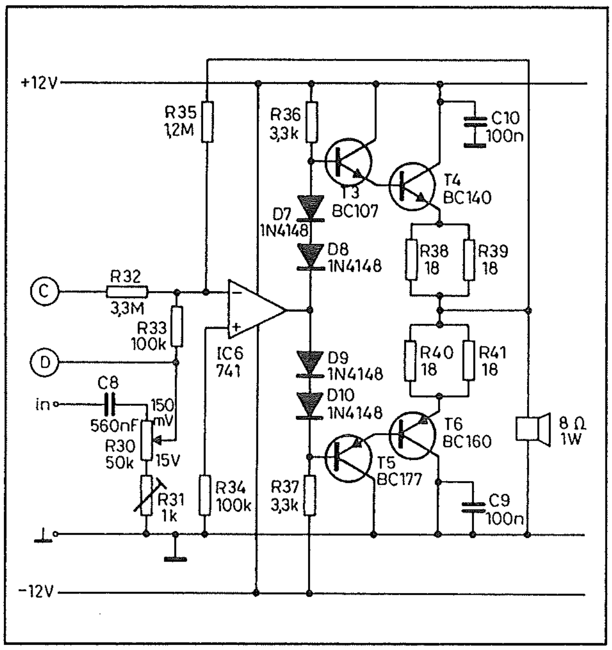
De werking is als volgt. Stel dat punt B gelijk is aan -12 V. Deze te grote spanning wordt eerst door de weerstand R25 en de diode D4 gereduceerd tot ongeveer -7 V. Deze spanning staat rechtstreeks op de stuuringangen van de schakelaars S_A en S_B. De schakelaars staan open. De stuuringang van schakelaar S_C is met de positieve voeding verbonden via weerstand R27. Deze schakelaar is dus gesloten, punt C ligt aan de massa. Stel nu dat op punt B een spanning van +12 V wordt aangeboden. Deze spanning wordt eerst weer ge-

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service

reduceerd tot +7 V door R25 en D3. De schakelaars S_A en S_B sluiten, punt C wordt met punt A doorverbonden. De stuuringang van S_C wordt nu door de gesloten schakelaar S_A met de negatieve voeding verbonden en opent. De kortsluiting tussen punt C en de massa wordt verbroken. Conclusie: de schakeling zal punt C ofwel rechtstreeks met punt A doorverbinden ofwel punt C kortsluiten naar de massa.

De signaalvolger

Het schema van de signaalvolger is getekend in figuur 4/7.32-5 en is niets anders dan een eenvoudig complementair versterkertje. Aan de ingang worden twee signalen aangeboden. Op de eerste plaats het signaal van punt C van de elektronische schakelaar via weerstand R32. Op de tweede plaats het ingangssignaal via de weerstand R33. Beide signalen worden met elkaar gemengd volgens het bekende systeem van het "virtuele massapunt". De inverterende ingang van de operationele versterker staat op massa-potentiaal. De niet-inverterende ingang van het IC is immers via weerstand R34 met de massa verbonden en de negatieve ingang zal zich bijgevolg ook op deze spanning instellen. Door R32 en R33 lopen twee stromen, waarvan de grootte wordt bepaald door het signaal aan de andere kant van de weerstanden. De inverterende ingang van de operationele versterker heeft een zeer hoge weerstand. De stromen kunnen dus alleen maar via weerstand R35 afvloeien. Deze weerstand ligt aan de uitgang van de versterker. De versterking voor beide signalen wordt dus bepaald door respectievelijk de verhouding van R35 tot R32 en R35 tot R33. De eerste verhouding is zo gekozen, dat er bij gesloten elektronische schakelaar een aangenaam niet te luid signaal uit de luidspreker klinkt. De tweede verhouding bepaalt de gevoeligheid van de signaalvolger. Het maximale vermogen van 1 W ontstaat als er over de luidspreker van 8 Ω een spanning van 2,8 V staat. De verhouding tussen R35 tot R33 legt de gevoeligheid vast op ongeveer 250 mV voor 1 W in de luidspreker.



Figuur 4/7.32-5: Het praktisch schema van de signaalvolger bestaat uit niets meer dan een eenvoudig complementair versterkertje.

De ingangsspanning wordt via een scheidingscondensator C8 aan de gevoeligheidspotentiometer R30 aangeboden. Dit onderdeel ligt niet, zoals gebruikelijk, aan de massa. Dit heeft natuurlijk alles te maken met het feit dat deze potentiometer ook gebruikt wordt als bereikenschakelaar voor de wisselspanningsmeter. Als de loper in de bovenste stand staat, wordt het ingangssignaal onverzwakt aangeboden aan uitgang D. Dit punt gaat naar de ingang van de gelijkrichter en deze schakeling is zo ontworpen dat zij de 15 V meter

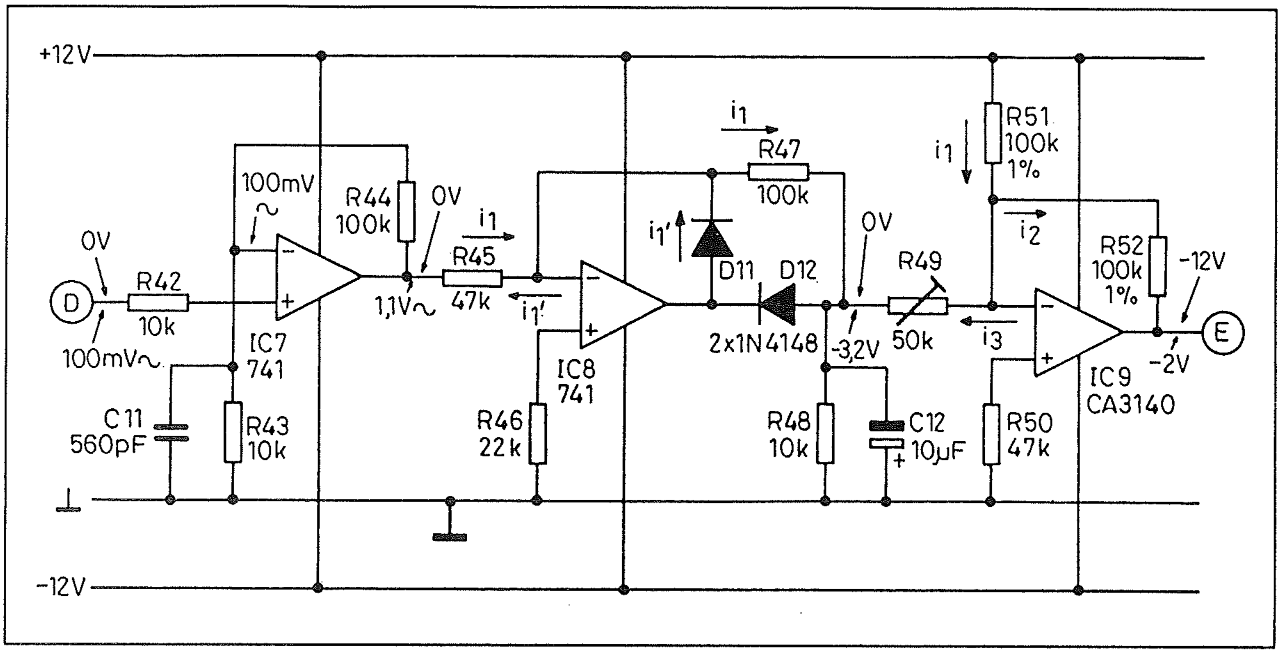
7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service

volledig uitstuurt als op punt D een spanning van 150 $mV_{effectief}$ staat. Zet men de loper in de onderste stand, dan wordt er een spanningsdeler R30/R31 gevormd. Door het afregelen van R31 kan men deze spanningsdeler een verhouding van 99 op 1 geven, zodat er 150 mV naar D gaat als er op de ingang 15 V wordt aangelegd.
De eindtrap van de signaalvolger is volledig volgens de regels gebouwd. Twee Darlington's T3/T4 en T5/T6 leveren het vermogen aan de luidspreker, deze transistor-combinaties worden door middel van vier dioden D7 tot en met D10 van de noodzakelijke instelspanningen voorzien. De ruststroom die hiervan het gevolg is bedraagt ongeveer 50 mA. De thermische stabiliteit is uitstekend door de vrij grote waarde van de emitter-weerstanden R38 tot en met R41. Deze weerstanden zorgen ervoor dat als de transistoren meer stroom willen trekken er een kleinere spanning ontstaat tussen basis en emitter. De transistoren gaan dan natuurlijk minder geleiden, zodat de oorspronkelijke stroomstijging wordt tegengewerkt. Opmerking. Door het mengen van de twee ingangssignalen volgens het systeem met "virtueel nulpunt" zal het signaal dat op C wordt aangelegd niet doordringen tot de gelijkrichter en de meter. De negatieve ingang van de operationele versterker staat immers op massa-potentiaal en er is dus geen C-signaal aanwezig dat via R33 tot de gelijkrichter zou kunnen doordringen.

De gelijkrichter

Wie wel eens een schema van het een of ander commercieel apparaat heeft bekeken, zal verbaasd zijn geworden over de manier waarop men op ieder onderdeel beknibbelt. Bij de meeste signaalvolgers is de noodzakelijke gelijkrichter die de meter stuurt heel eenvoudig uitgevoerd. Wie zélf bouwt hoeft niet te besparen op onderdelen, deze kosten tegenwoordig toch niets. In dit ontwerp is dan ook gekozen voor een zeer uitgebreide, maar uitstekende gelijkrichter. Het schema van de schakeling is getekend in figuur 4/7.32-6. De eerste trap rond operationele versterker IC7 is een eenvoudige versterker. De versterkingsfactor wordt door de weerstanden R43 en R44 op 11 vastgelegd. De kleine condensator C11, geschakeld over R43, vergroot de versterking voor hogere frequenties. Dit onderdeel heeft immers een impedantie die daalt bij stijgende frequentie en het gevolg is dat de waarde van de weerstand die tussen de massa en de inverterende ingang is geschakeld daalt als de signaalfrequentie stijgt. Hierdoor wordt de doorlaatband van de meter vergroot. De gebruikte 741 op-amp's laten het reeds bij 10 kHz enigszins afweten. De slechte HF-weergave van de op-amp's wordt door deze condensator gecompenseerd.
Na de versterker treft men een topdetector aan, opgebouwd rond IC8. Ook hier wordt weer het principe van "virtueel massapunt" toegepast. De positieve ingang van IC8 ligt aan de massa, de spanning op de negatieve ingang zal dus ook 0 V zijn. Stel dat aan weerstand R45 een positieve sinushelft wordt aangelegd. Deze spanning veroorzaakt door de weerstand een stroom i_1. De negatieve ingang heeft een zeer hoge ingangsweerstand, de stroom kan alleen maar door weerstand R47 verder vloeien. De diode D11 ligt immers met de kathode aan de negatieve ingang en spert voor deze stroom. De stroom i_1 doorloopt R47 en belandt op het knooppunt van D12, R48 en C12. De diode geleidt, de uitgang van de operationele versterker stelt zich in op een negatieve spanning.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



Figuur 4/7.32-6: De gelijkrichter is een vrij ingewikkelde schakeling, maar levert uitstekende kwaliteit.

De grootte van deze spanning wordt bepaald door de waarde van de stroom en door de grootte van de weerstand R47.
De waarde van de stroom is echter weer afhankelijk van de grootte van de sinusspanning op de ingang en van de waarde van R45.
Conclusie: op de uitgang verschijnt een negatieve spanning, waarvan de grootte afhankelijk is van de waarde van de ingangsspanning en van de weerstandsverhouding R45/R47. Stel nu dat een negatieve halve sinus op de ingang verschijnt. Door R45 loopt nu een stroom i_1', uiteraard in tegengestelde richting. Deze stroom kan via weerstand R47, maar ook via de diode D11 worden aangevoerd. Elektriciteit heeft echter nogal menselijke eigenschappen en kiest steeds de weg van de minste weerstand. Het zal duidelijk zijn dat dit de geleidende diode is. Over D11 valt een spanning van 0,7 V, hetgeen meteen de spanning op de uitgang van de operationele versterker is. Deze +0,7 V op de kathode van D12 laat dit onderdeel sperren. De anode staat immers nog steeds op een negatieve spanning, die was ontstaan door de vorige positieve halve sinus en die was opgeslagen in elco C12.
Conclusie: de schakeling werkt als een top-detector, die de positieve toppen van een sinus aan de ingang omvormt tot een negatieve gelijkspanning over C12 en de negatieve toppen laat voor wat ze zijn.
De laatste trap rond IC9 is nodig vanwege de eigenaardige schakeling van de meter. De top-detector levert een spanning af ten opzichte van de massa van het systeem. Is de te meten wisselspanning nul, dan staat over C12 ook een spanning van 0 V. De meter heeft echter als nulpunt de -12 V voeding en zou de gelijkrichter rechtstreeks met de meter worden doorverbonden, dan zou 0 V over de gelijkricht condensator overeen komen met een meterindicatie van 12 V. De schakeling rond IC9 verplaatst als het ware het nulpunt van de gelijkrichter van massa naar -12 V. Hoe werkt deze trap? Vrij simpel, men mengt de uitgang van de gelijkrichter met een

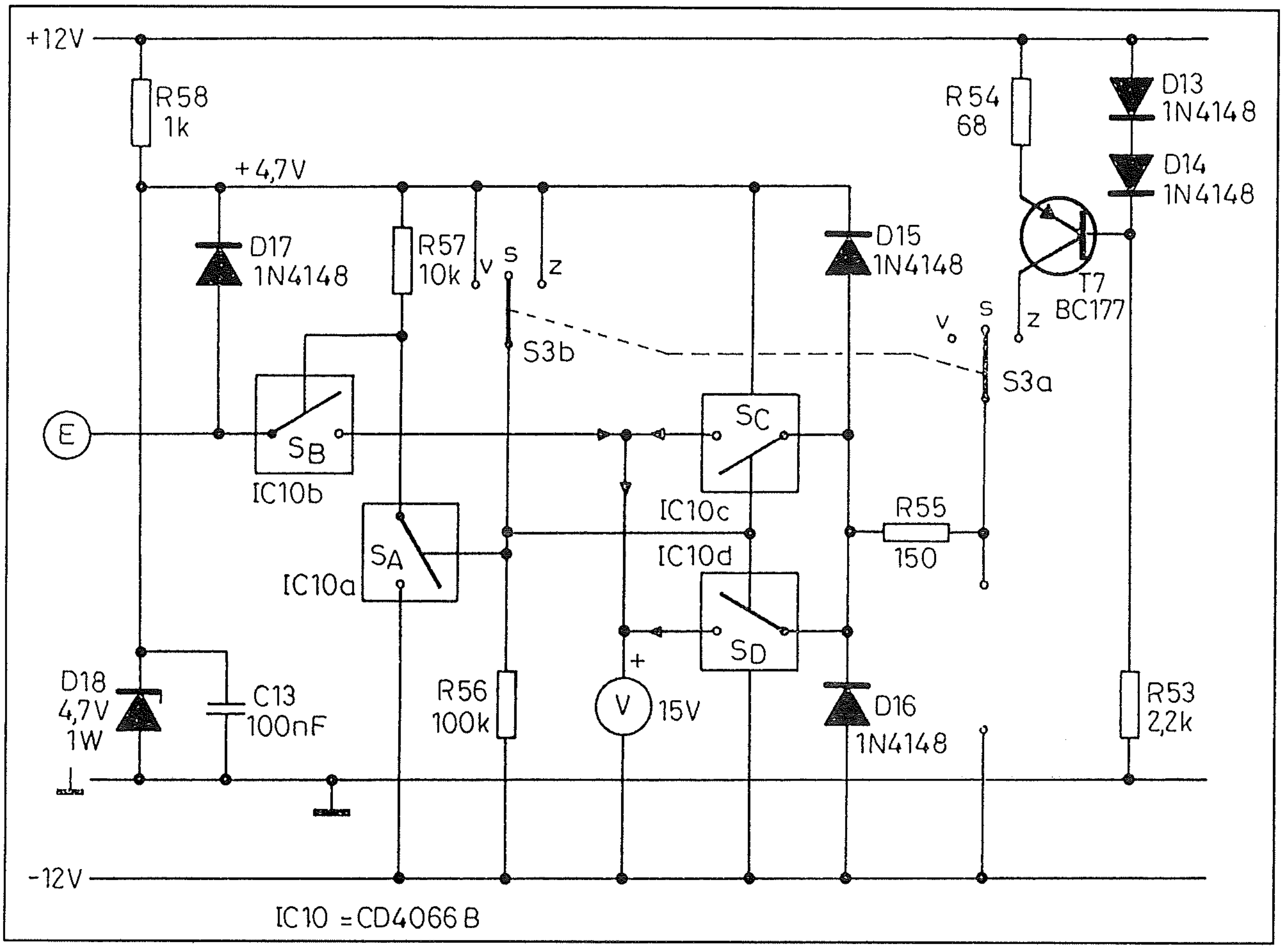
7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service

spanning van +12 V. IC9 is inderdaad geschakeld als inverterende sommeerversterker. De twee te mengen spanningen worden aan het IC aangeboden via de weerstanden R49 en R51. De weerstand R52 is de sommeerweerstand. Stel dat de te meten wisselspanning 0 V is. Over C12 staat dan geen spanning, door R49 vloeit geen stroom. Weerstand R51 voert een stroom i_1 toe. De negatieve ingang van de operationele versterker staat op massa (inderdaad, alweer virtueel), de stroom kan alleen via R52 afvloeien naar de uitgang van de operationele versterker. Nu zijn R51 en R52 even groot (1 % weerstanden gebruiken!). Beide componenten worden door dezelfde stroom doorlopen, de spanningsvallen zijn gelijk. Over R51 staat 12 V, over R52 moet dus ook 12 V verschijnen. De linker aansluiting moet bijgevolg op -12 V staan. Het gebruikte IC CA3140 kan zo'n lage spanning leveren. Conclusie: 0 V over C12 is omgezet in -12 V op punt E. Stel nu dat een wisselspanning van 100 $mV_{effectief}$ aan de ingang van de versterker verschijnt. Deze spanning wordt gelijkgericht tot ongeveer -3,2 V over C12. Door R49 gaat nu een stroom i_3 in de getekende richting vloeien. Door R51 wordt echter nog steeds een stroom i_1 aangevoerd. Het verschil tussen beide stromen vloeit nu als i_2 af door R52 naar de uitgang van de operationele versterker. De spanning op de uitgang stijgt, want i_2 is nu kleiner dan i_1. Een wisselspanning op de ingang veroorzaakt dus een stijging op de uitgang. Door nu R49 af te regelen kan men er voor zorgen dat 150 $mV_{effectief}$ op de ingang een stijging van exact 15 V op de uitgang veroorzaakt. De uitgang gaat dan naar +3 V, hetgeen overeenkomt met +15 V ten opzichte van de -12 V voeding. Voert men deze spanning toe aan de 15 V meter, dan zal deze volle schaal uitslaan. Toegegeven, het lijkt allemaal ingewikkeld, maar dank zij deze schakeltechnieken kon het gehele ontwerp aanmerkelijk vereenvoudigd worden!

De zenertester en voltmeter

De schakeling van de meetschakeling is gecombineerd met de zenertester. Het praktisch schema is getekend in figuur 4/7.32-7. Dit lijkt een vrij moeilijk te doorgronden schakeling, maar in feite bestaat zij uit niets meer dan een stroombronnetje voor het testen van de zenerdioden en een elektronische schakelaar, die identiek is aan diegene die reeds besproken is en die de meter verbindt met ofwel de uitgang E van de gelijkrichter, ofwel met de ingangsstekerbussen J. Deze schakelaar is ook nu opgebouwd rond een CD4066B IC. Dit IC wordt gevoed tussen de -12 V systeemvoeding en een hulpspanning van +4,7 V, gegenereerd met behulp van de weerstand R58 en de zenerdiode D18. Dit natuurlijk vanwege de maximale 18 V grens, gesteld door de IC-fabrikant. Veronderstel dat de functie-schakelaar S3 in de middelste "signaal"-stand staat. De stuuringang van S_A wordt via weerstand R56 verbonden met de negatieve voeding, de schakelaar is open. S_B ontvangt een positief stuursignaal via R57 en sluit. De positieve klem van de 15 V draaispoelmeter V is nu via deze gesloten schakelaar verbonden met punt E, de uitgang van de gelijkrichter. De meter meet de op de ingang van de signaalvolger aangeboden wisselspanning. De schakelaars S_C en S_D worden gestuurd via R56 en staan open. Stel dat men vervolgens de functieschakelaar in de rechter "voltmeter"-stand zet. De stuuringangen van de schakelaars S_A, S_B en S_C worden rechtstreeks met de positieve voeding verbonden (via S3b), de schakelaars sluiten.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



Figuur 4/7.32-7: Het praktisch schema van de zenertester en de voltmeter.

De positieve ingangsbus is nu via weerstand R55 en de twee parallel geschakelde schakelaars S_C en S_D met de meter verbonden. De meter meet de grootte van de op de ingangen aangeboden gelijkspanning. Weerstand R55 en de dioden D15 en D16 beschermen de elektronische schakelaar tegen te grote positieve of negatieve spanningen. De twee elektronische schakelaars zijn parallel geschakeld, om de weerstand die in serie staat met de meter en die de nauwkeurigheid van de meting beïnvloedt, zo klein mogelijk te maken. Vandaar ook de in feite veel te lage waarde van de beveiligingsweerstand R55. Meet men een spanning van 15 V en sluit men deze per ongeluk verkeerd om aan, dan zal diode D16 gaan geleiden en zal er niet minder dan 100 mA door R55 en D16 afvloeien. In de praktijk is dat echter niet zo rampzalig, want men merkt dadelijk de fout, doordat de meternaald in de verkeerde richting uitslaat.

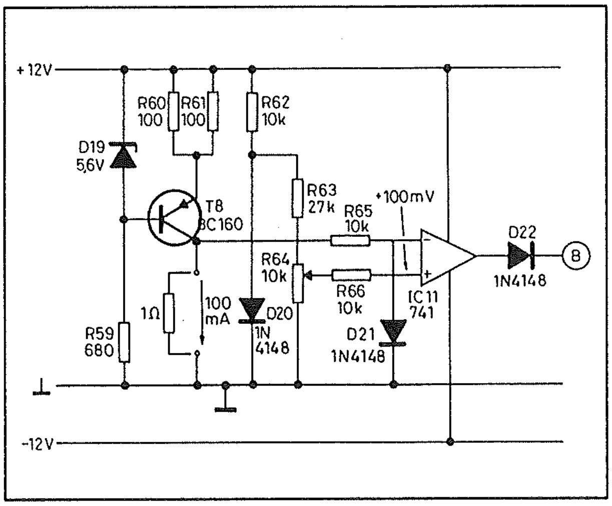
Stel nu de functieschakelaar in de rechter stand "zener". Aan de instelling van de elektronische schakelaar verandert niets. Hij blijft de meter doorverbinden met de positieve ingangsbus. Wat wel verandert is dat de collector van T7 met de positieve bus wordt verbonden. Deze transistor levert een constante stroom van 10 mA. Deze stroom doorloopt de zenerdiode die getest wordt en over het onderdeel ontstaat de door de fabrikant bij 10 mA ge-

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service

specificeerde zenerspanning. De werking van zo'n stroombron wordt bij de volgende schakeling besproken.

De doorgangstester

Het schemaatje van de doorgangstester wordt voorgesteld in figuur 4/7.32-8. Transistor T8 is precies zo geschakeld als zijn soortgenoot T7, ook dit is dus een constante stroombron. De werking van een dergelijke schakeling is erg eenvoudig. De basis van de transistor wordt door middel van de zenerdiode D19 ingesteld op een constante spanning ten opzichte van de +12 V systeemvoeding. De emitter is met de +12 V verbonden via de weerstanden R60/R61. De basis-emitter spanning is constant, namelijk ongeveer 0,7 V. Over beide weerstanden moet dus een constante spanning staan, namelijk het verschil tussen de zenerspanning en de U_{be}. De stroom door de weerstanden is bijgevolg eveneens constant. De schakeling is nu zo gedimensioneerd, dat deze stroom gelijk is aan 100 mA. Deze stroom vloeit via de collector naar de uitgang en veroorzaakt over de tussen de uitgang en de massa aangesloten externe weerstand een spanningsval. Is deze weerstand maximaal 1 Ω, dan zal de constante stroom van 100 mA een spanningsval van maximaal 100 mV veroorzaken. Deze spanning wordt in de als comparator geschakelde operationele versterker IC11 vergeleken met een spanning van precies 100 mV, af te regelen met R64. Is de aangesloten weerstand lager dan 1 Ω, dan zal de negatieve ingang van de operationele versterker op een lagere spanning staan dan de positieve ingang. De uitgang van de schakeling wordt gelijk aan +12 V en deze spanning op punt B stuurt de elektronische schakelaar van figuur 4/7.32-4, De luidspreker piept, wat wil zeggen dat tussen de twee ingangen van de doorgangstester een kortsluiting of een weerstand kleiner dan 1 Ω staat. Op deze wel heel simpele manier kan men dus printbanen op onderbreking testen en relais-kontakten doormeten.

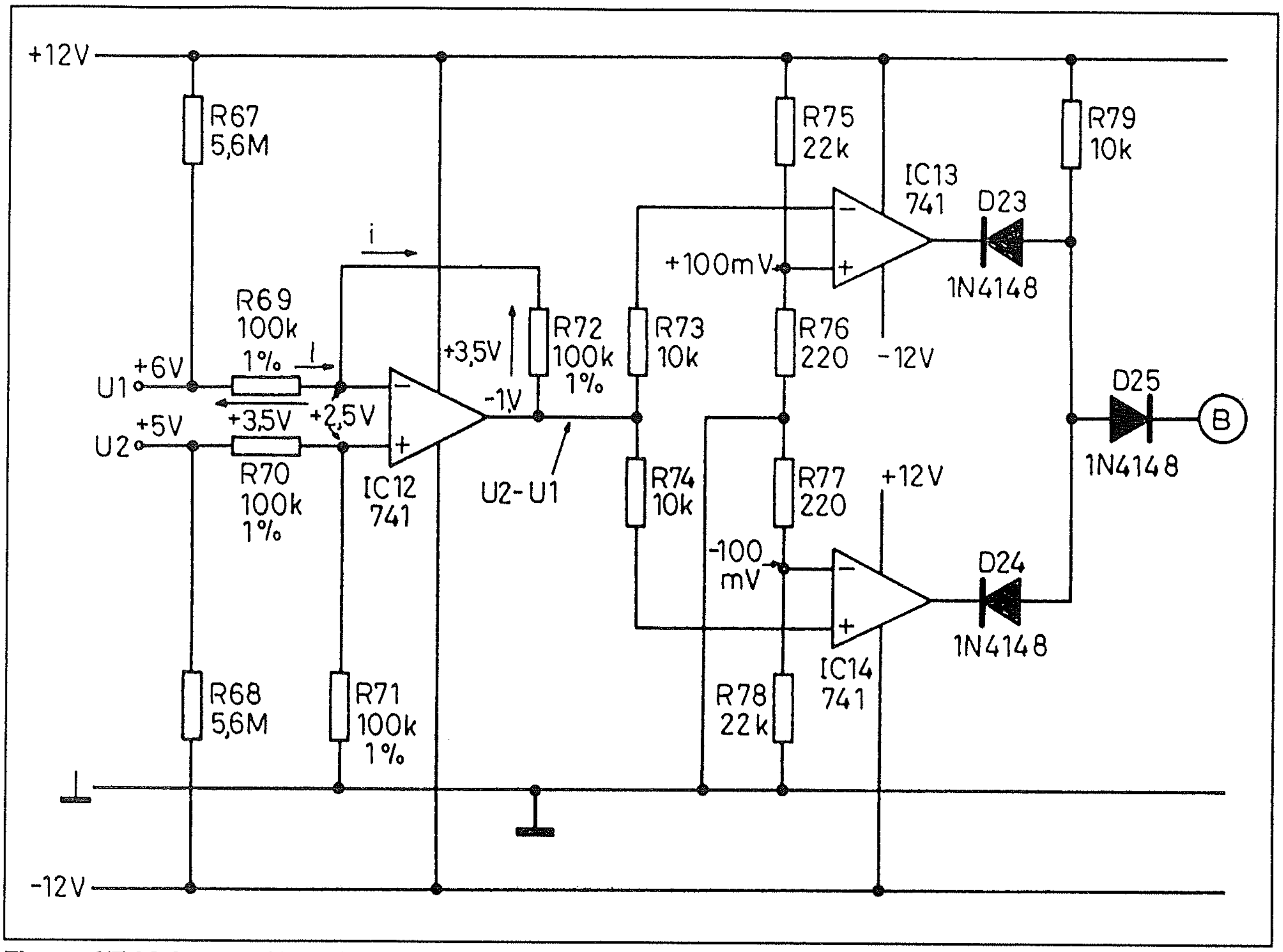


Figuur 4/7.32-8: Het schema van de doorgangstester vergelijkt de spanningsval over de weerstand tussen de ingangen met een referentiespanning van 100 mV.

De comparator

De comparator vergelijkt de grootte van twee ingangsspanningen en stuurt de luidspreker met het signaal van de sinusgenerator als beide spanningen aan elkaar gelijk zijn. De schakeling is getekend in figuur 4/7.32-9. Rond de operationele versterker IC12 herkent men het basisschema van een verschilversterker, die op zijn uitgang het verschil levert tussen U_1 en U_2. Stel dat U_1 gelijk is aan +5 V en U_2 gelijk aan +6 V. Het gevolg is dat op de uitgang van IC12 een spanning van -1 V moet ontstaan, het verschil tussen +5 V en +6 V. De spanning van +5 V staat over R70 en R71, twee even grote weerstanden.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



Figuur 4/7.32-9: Het schema van de comparator, waarin twee ingangsspanningen van elkaar afgetrokken worden en de verschilspanning vergeleken met referentiespanningen van +100 mV en -100 mV.

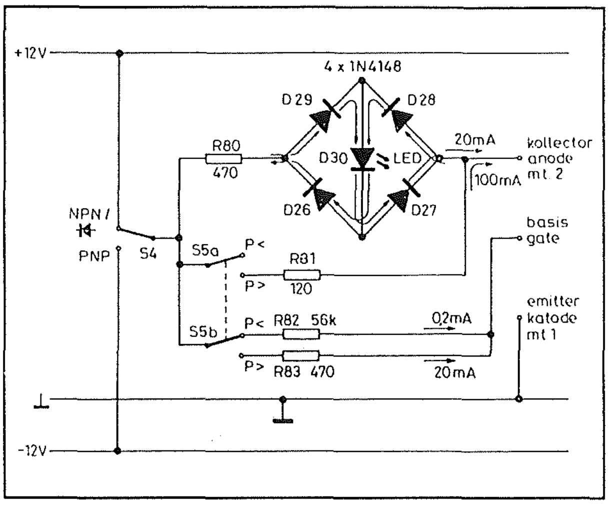
De positieve ingang van de operationele versterker staat bijgevolg precies op de helft, dus op +2,5 V, De operationele versterker kan het niet laten het spanningsverschil tussen beide ingangen op nul te regelen. De negatieve ingang slaat ook op +2,5 V, over R69 valt 3,5 V. De stroom i kan via R72 naar de uitgang. R72 is gelijk aan R69, over R72 staat dus ook 3,5 V. Een spanning van 2,5 V op de linker aansluiting en 3,5 V over het onderdeel levert een spanning op van -1 V op de rechter aansluiting van de weerstand, hetgeen voorspeld werd.

Het spanningsverschil tussen U1 en U2 wordt in twee comparatoren IC13 en IC14 vergeleken met twee referentiespanningen van respectievelijk +100 mV en -100 mV. Is het spanningsverschil kleiner, dan zijn twee uitgangen van de comparatoren positief. De dioden D23 en D24 sperren. De +12 V voedingsspanning gaat via de weerstand R79 naar punt B en stuurt de elektronische schakelaar. Een piepje is het gevolg. Is het spanningsverschil groter dan +100 mV of -100 mV, dan zal een van de comparatoren een negatieve uitgang leveren. De op deze uitgang

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service

aangesloten diode geleidt, het knooppunt wordt negatief en D25 spert. Er wordt géén stuurspanning naar de elektronische schakelaar gevoerd.
Nu nog de weerstanden R67 en R68. Zonder deze weerstanden zou de uitgang een positieve spanning voeren als beide ingangen open liggen, dus als de comparator niet wordt gebruikt. Hetgeen een zeer vervelend continu piepje uit de luidspreker zou veroorzaken. Met deze weerstanden wordt een kunstmatig spanningsverschil gecreeerd tussen beide ingangen dat groter is dan 100 mV. De weerstanden zijn zo groot dat zij de op de comparator aangelegde te vergelijken spanningen nauwelijks beïnvloeden.

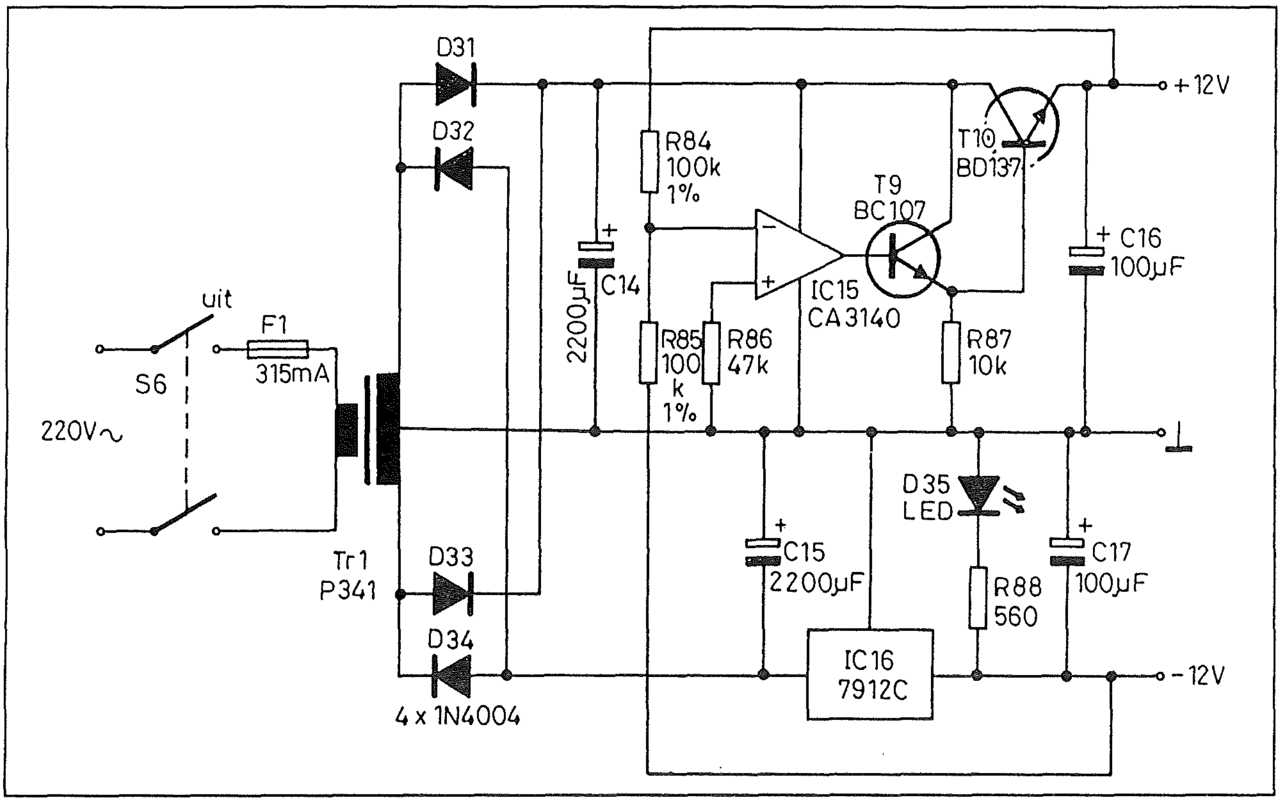
De componententester
De onderdelentester is het eenvoudigste deel van de volledige elektronica en bestaat uit slechts 4 weerstanden, evenveel dioden en een LED, zie figuur 4/7.32-10. Stel dat een NPN-transistor wordt getest. De schakelaar S4 wordt in de stand "NPN/DIODE" geplaatst. De positieve voedingsspanning wordt nu via R80 en de bruggelijkrichter D26 tot en met D29 met de collector van de te testen transistor verbonden. De emitter ligt aan massa. De basis blijkt voorlopig open, de transistor moet dus sperren. Zou dat niet het geval zijn, bijvoorbeeld door een interne kortsluiting, dan zal de LED D30 oplichten. Blijft de LED gedoofd, dan kan men hopen dat de transistor het nog doet. Nu wordt de basis aangesloten op de "basis"-ingang. Er gaat basisstroom vloeien, in grootte instelbaar door S5. De transistor moet nu gaan geleiden, hetgeen het oplichten van de LED tot gevolg heeft. Blijft dit onderdeel donker, dan kan men besluiten dat de transistor een fout in de b/e-overgang vertoont en dus toch stuk is.



Figuur 4/7.32-10: Het eenvoudige schema van de componententester.

Kortom, een zeer simpele maar zeer effectieve testmethode! Een mogelijk levende vraag moet nog worden beantwoord: wat is de bedoeling van de brug-gelijkrichter in de collectorkring? Wel, als PNP-transistoren aan de beurt zijn moet de collector uiteraard met de negatieve spanning verbonden worden. Dat gebeurt met S4. Het gevolg is wel, dat de collectorstroom nu uit de collector naar de voeding loopt. De vier dioden van de brug zorgen er voor dat de stroom toch van anode naar kathode door de LED stroom.
Tot slot enige opmerkingen over het testen van thyristoren en triac's. Schakelaar S4 moet in de stand "NPN-DIODE" worden gezet. De meeste stuurbare dioden zijn tamelijk ongevoelig, het is dan ook noodzakelijk de schakelaar S5 in de stand "groot vermogen" te zetten. De gatestroom van 20 mA, die dan ter beschikking staat is wel voldoende groot om iedere triac of thyristor uit de hobbysfeer in geleiding te sturen. De schakeling is niet geschikt voor het testen van triac's met ingebouwd diac. Deze ontsteken bij een gatespanning van meer dan 30 V.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



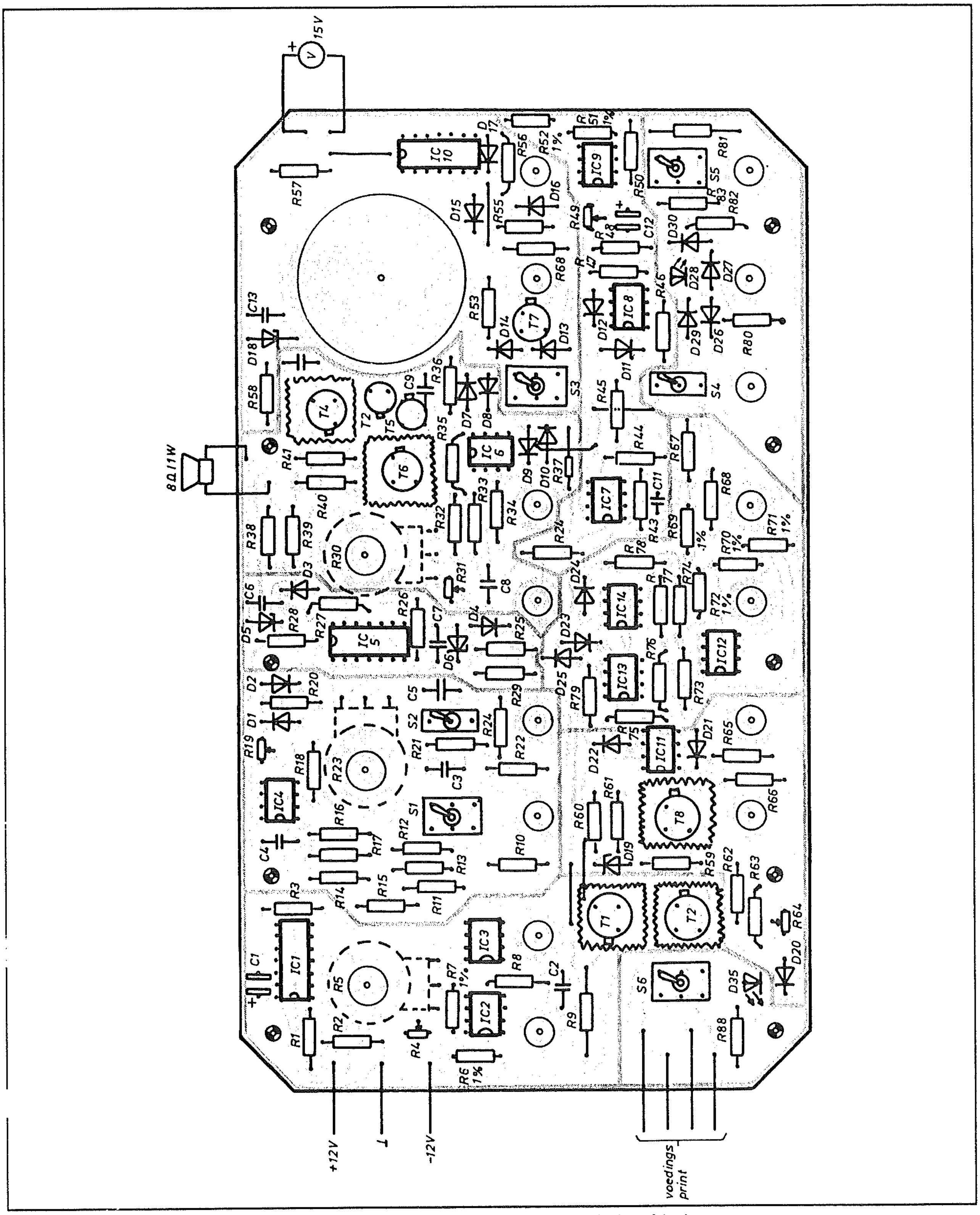
Figuur 4/7.32-11: De schakeling van de interne systeemvoeding.

De voeding
Zoals uit figuur 4/7.32-11 blijkt, wordt de negatieve voeding van -12 V op de bekende manier met een stabilisator-IC van -12 V opgewekt. De positieve voeding, echter, lijkt wat vreemd. De operationele versterker IC15 is als inverterende versterker geschakeld met de -12 V als ingang en de +12 V als uitgang. Het gevolg is dat de positieve voeding precies even groot wordt als de negatieve, op het teken na. Vanwaar deze bijzondere schakeling? De laatste trap van de gelijkrichter gebruikte +12 V als referentie voor het verschuiven van het nulpunt van de meter. Het is dan wel noodzakelijk dat de positieve voedingsspanning precies even groot is als de negatieve. De bekende stabilisatoren 7812 en 7912 hebben een tamelijk grote tolerantie op de uitgangsspanning en zou men een 7812 gebruiken voor het opwekken van de +12 V, dan is de kans groot dat niet aan de gestelde eis wordt voldaan.

De bouw van de schakeling

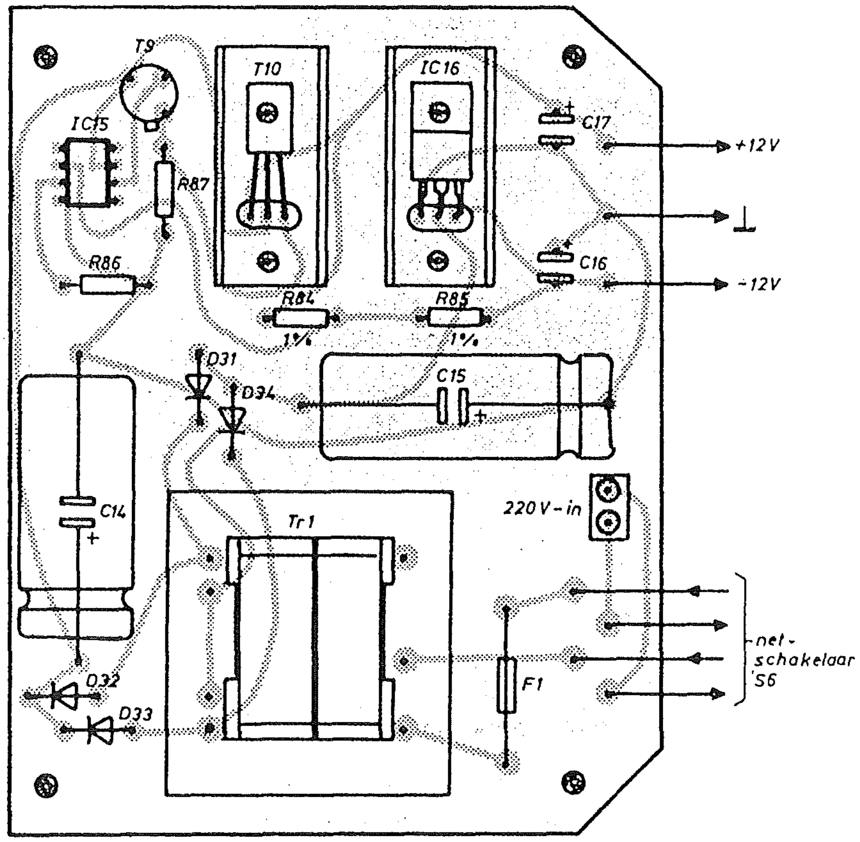
Concept
Om het de nabouwer zo gemakkelijk mogelijk te maken, is dit universeel meetinstrument ontworpen rond een goedkoop standaard kastje, namelijk het type P/4 van Teko. De print voor de schakeling, getekend in figuur 4/7.32-12 op de transparante pagina, past precies in deze behuizing.
Enige opmerkingen: het grote zwarte vlak moet worden uitgezaagd. Dit ronde gat is bedoeld voor de paneelmeter.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



Figuur 4/7.32-13: De (verkleinde) componentenopstelling van de hoofdprint.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



Figuur 4/7.32-15: De componentenopstelling van de voedingsprint.

De vier zwarte driehoekjes op de hoeken van de print worden verwijderd, want deze staan in de weg voor het systeem, waarmee de frontplaat in de kast wordt geschroefd. Voor het volbouwen van de print dient de (verkleinde) componentenopstelling van figuur 4/7.32-13 als richtlijn. De voeding zit op een tweede printje, voorgesteld in figuur 4/7.32-14. De componententekening van de print staat in figuur 4/7.32-15.

De bouw van de printen

Alle onderdelen, ook schakelaars en stekerbussen, kunnen rechtstreeks op de twee printen worden bevestigd. Voor iedere in- of uitgang heeft men twee van de bekende kleine 4 mm stekerbusjes nodig. De schroef wordt verwijderd en men monteert het ronde plastic busje van het ene chassisdeel extra achter het plastic busje van het tweede chassisdeel. Nadien kan men de bus op de print bevestigen. Het tapse uiteinde van het metalen lichaam, bedoeld voor het vast solderen van een draadje, wordt afgeknipt met een stevige tang. Ook de tuimelschakelaars kunnen rechtstreeks op de print worden opgenomen, als eerst aan alle aansluitlipjes draadjes worden gesoldeerd. Nadien duwt men de schakelaar in de print als ware het een echte print-schakelaar en soldeert men de draadjes vast. De vijf ronde vermogenstransistoren worden voorzien van een koelsterretje.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %

Onderdeel	Waarde
R38,R39,R40,R41	18 Ω
R54	68 Ω
R60,R61	100 Ω
R81	120 Ω
R150	150 Ω
R76,R77	220 Ω
R80,R83	470 Ω
R28,R29,R88	560 Ω
R59	680 Ω
R3,R58	1 kΩ
R1,R53	2,2 kΩ
R36,R37	3,3 kΩ
R20	8,2 kΩ
R12,R16,R18,R25,R27,R42,R43,R48,R57,R62,R65,R66,R73,R74,R79,R87	10 kΩ
R22	18 kΩ
R46,R75,R78	22 kΩ
R21,R63	27 kΩ
R8,R45,R50,R86	47 kΩ
R82	56 kΩ
R2	68 kΩ
R24,R26,R33,R34,R44,R47,R56	100 kΩ
R10,R11,R14,R15	220 kΩ
R13,R17	1 MΩ
R35	1,2 MΩ
R32	3,3 MΩ
R67,R68	5,6 MΩ

WEERSTAND, 1 W, 5 %

Onderdeel	Waarde
R9	56 Ω

WEERSTANDEN, 1/4 W, 1 %, MF

Onderdeel	Waarde
R6,R7,R51,R52,R69,R70,R71,R72,R84,R85	100 kΩ

INSTELPOTENTIOMETERS, STAAND, RASTER 5x2,5

Onderdeel	Waarde
R31	1 kΩ
R4	2,5 kΩ
R64	10 kΩ
R19	25 kΩ
R49	50 kΩ

DRAAIPOTENTIOMETERS, LINEAIR, MONO

Onderdeel	Waarde
R5,R23	5 kΩ
R30	50 kΩ

CONDENSATOREN

Onderdeel	Waarde	Type
C11	560 pF	ceramisch
C3,C4	1,5 nF	MKH
C2,C6,C7,C9,C10,C13	100 nF	MKH
C5,C8	560 nF	MKH

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service

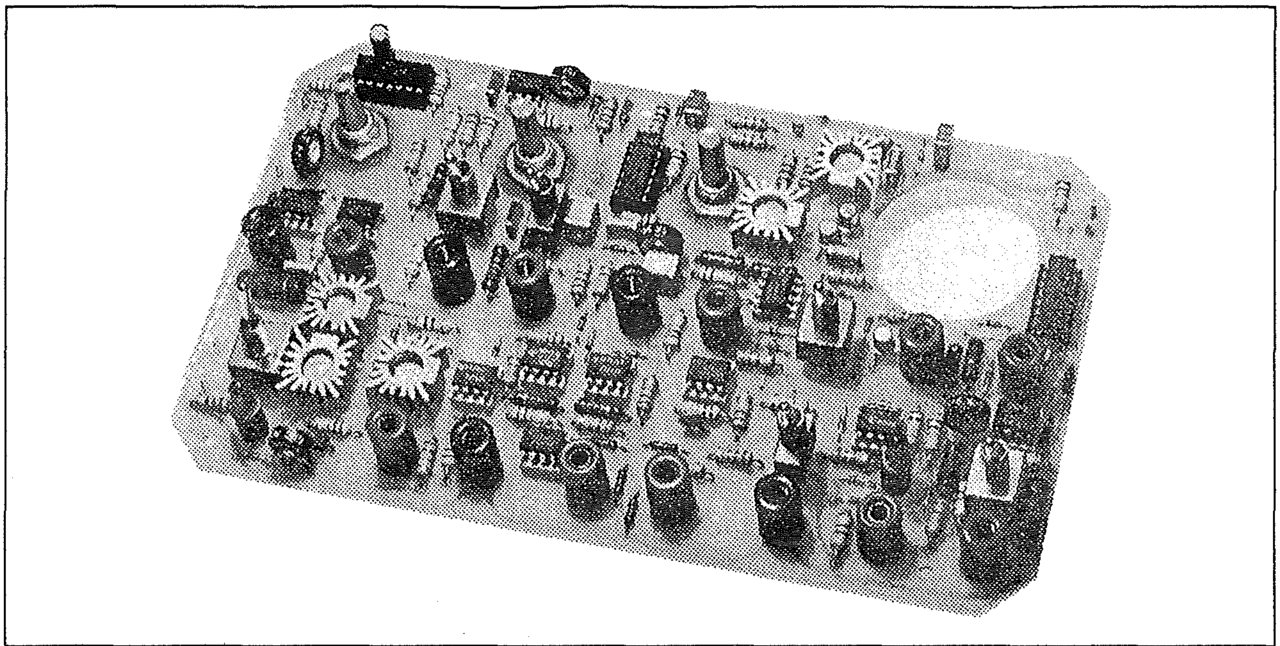
C1,C12	10 μF 25 V printelco
C16,C17	100 μF 25 V printelco
C14,C15	2.200 μF25 V axiale elco
HALFGELEIDERS	
D1,D2	AA113
D31,D32,D33,D34	1N4004
D3,D4,D7,D8,D9,D10,D11,D12,D13,D14,D15,D16,D17,D20,D21,D22,D23,D24,D25	1N4148
D18	4V7, 400 mW zener
D19	5V6, 400 mW zener
D5,D6	6V2, 400 mW zener
D30,D35	LED 5 mm rood
T3,T9	BC107
T5,T7	BC177
T10	BD137
T1,T4	BC140
T2,T6,T8	BC160
IC1	CA3086
IC2,IC3,IC4,IC6,IC7,IC8,IC11,IC12,IC13,IC14	741 mini-DIL
IC9,IC15	CA3140
IC5,IC10	CD4066B
IC16	7912C
DIVERSEN	
S1,S3	2xOM tuimel met middenstand
S2,S4	1xOM tuimel
S5,S6	2xOM tuimel
Tr1	P341
F1	315 mA
30	stekerbus 4 mm
5	koelster TO-39
2	U-profiel TO-126
1	15 V draaispoelmeter, 48x44 mm^2
3	knop voor 6 mm as
1	printzekeringhouder
20	printsoldeerlipje
1	kast TEKO P/4
diverse	montagematerialen

De foto van figuur 4/7.32-16 geeft een impressie van de compleet gemonteerde hoofdprint. Ook bij de voedingsprint moeten eerst de twee zwarte hoekjes worden weggezaagd. De transistor T10 en IC16 worden gemonteerd op kleine, U-vormige koelplaatjes, bijvoorbeeld type KS13. Het resultaat is te zien in figuur 4/7.32-17.

Het afregelen van de schakeling

Sluit eerst de voedingsprint aan op de netspanning en meet of de +12 V en -12 V op de uitgangen staan. De positieve voeding is niet kortsluitvast! Is dat het geval, dan kan men de twee printen voorlopig met elkaar verbinden en het luidsprekertje en de paneelmeter met de hoofdprint koppelen.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service

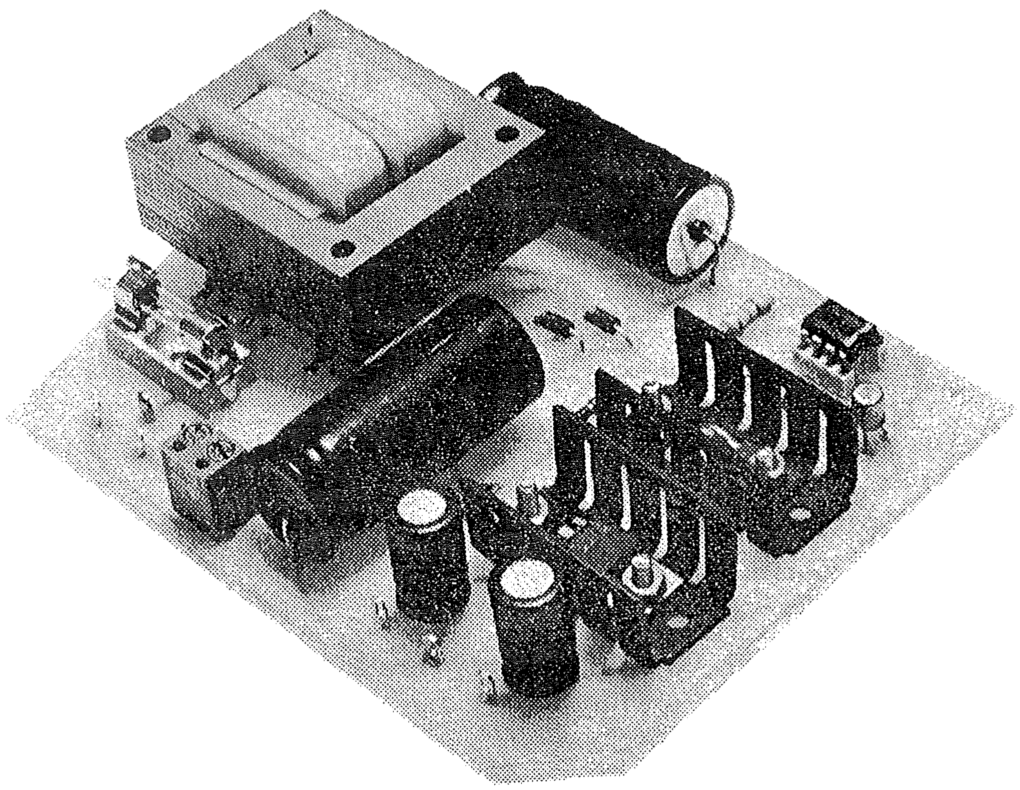


Figuur 4/7.32-16: De volledig gesoldeerde hoofdprint.

Voor het afregelen van de vijf instelpotentiometers heeft men niets meer dan een universeelmeter nodig.

- Afregelen R4
  Sluit de universeelmeter aan tussen de uitgangsbussen van de spanningsbron, draai de potentiometer R5 in uurwijzerzin en regel R4 af op 5 V uitgangsspanning. Verdraai de potmeter in tegenuurwijzerzin en kontroleer of de uitgang naar -5 V gaat.
- Afregelen R19
  Sluit de universeelmeter, geschakeld op wisselspanning, aan op de uitgangen van de sinusgenerator. Zet de frequentie op 1 kHz en de uitgang op 3 V. Regel R19 af tot er 3 V wisselspanning op de uitgang verschijnt. Schakel de frequentie om naar 100 Hz en 10 kHz en kontroleer de uitgangsspanning. Voor 10 kHz zal deze iets minder dan 3 V bedragen, dit vanwege de frequentiebeperkingen van de operationele versterker en de diode terugkoppeling
- Controle signaalvolger
  Verbindt de uitgang van de sinusgenerator met de ingang van de spanningsvolger en als alles goed is, moet de luidspreker een luide piep produceren, waarvan het volume instelbaar is door het verdraaien van R30.
- Afregelen R64
  Sluit de universeelmeter, geschakeld op het meten van gelijkstroom, aan op de ingangen van de "zenertester/voltmeter".
  Zet schakelaar S3 in de stand "zener", de stroom moet ongeveer 10 mA bedragen.
  Sluit de universeelmeter, geschakeld op gelijkspanning, aan tussen de massa en de onderste aansluiting van weerstand R66.
  Regel R64 af op 100 mV.
- Testen doorgangstester
  Zet de universeelmeter op gelijkstroom en schakel het apparaat tussen de ingangen van de doorgangstester. Er moet ongeveer 100 mA vloeien.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service

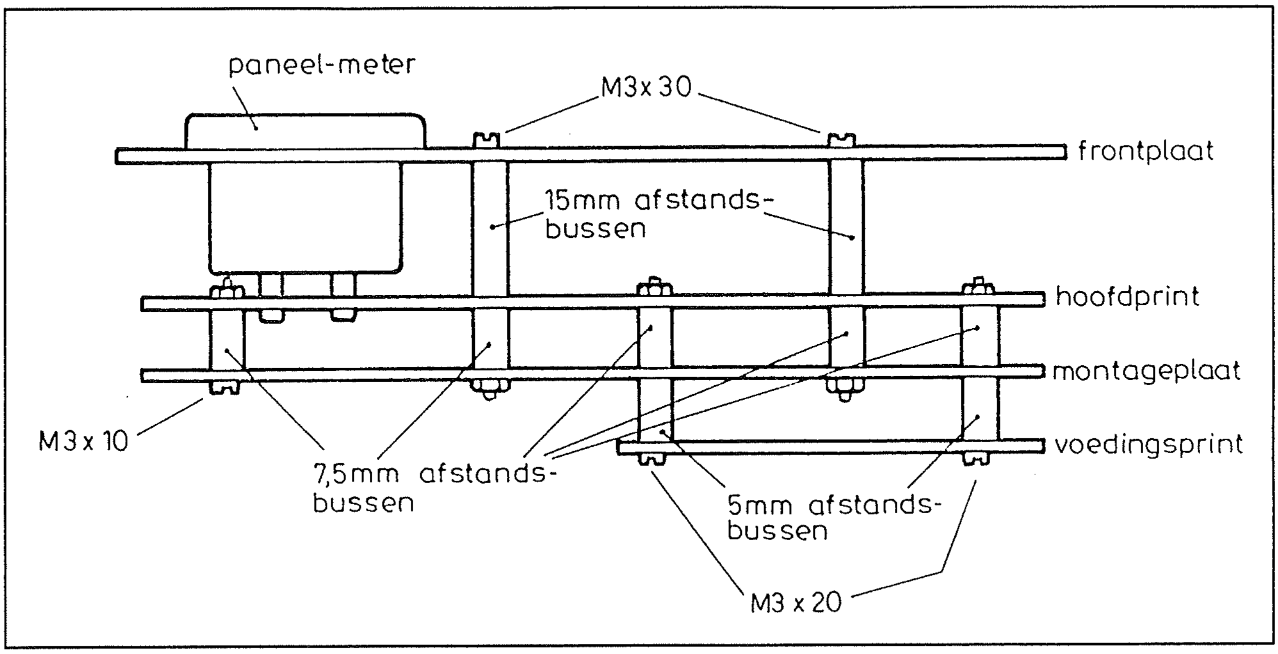


Figuur 4/7.32-17: De volledig gemonteerde voedingsprint.

- Afregelen R49 en R31
  Sluit de uitgang van de sinusgenerator aan op de ingang van de signaalvolger. Regel de uitgangsspanning af op 150 mV met behulp van de universeelmeter.
  Zet R30 in de stand 150 mV (volledig uurwijzerzin) en zet S3 in de middenstand (signaal). Regel R49 af tot de 15 V meter volledig uitslaat. Draai vervolgens R30 volledig in tegenuurwijzerzin (15 V) en zet de sinusgenerator op maximale uitgangsamplitude, dus 3 V. Meet deze spanning met de universeelmeter en regel R31 af tot de 15 V meter dezelfde spanning (dus ongeveer 3 V) aanduidt.

De laatste werkzaamheden
Het apparaat kan nu mechanisch worden afgewerkt. De bij het proto-type toegepaste constructie is getekend in figuur 4/7.32-18. Het is de bedoeling dat de twee printen rug-tegen-rug op een aluminium montageplaat worden bevestigd. Men moet dus eerst die montageplaat en de frontplaat gaan maken. De montageplaat is het simpelst: een plaatje aluminium met dezelfde afmetingen als de hoofdprint en met gaten voor de bevestiging, maar ook voor de drie potentiometers en de paneelmeter.
De frontplaat is natuurlijk andere koek! In figuur 4/7.32-19 is een model op ware grootte voorgesteld.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service

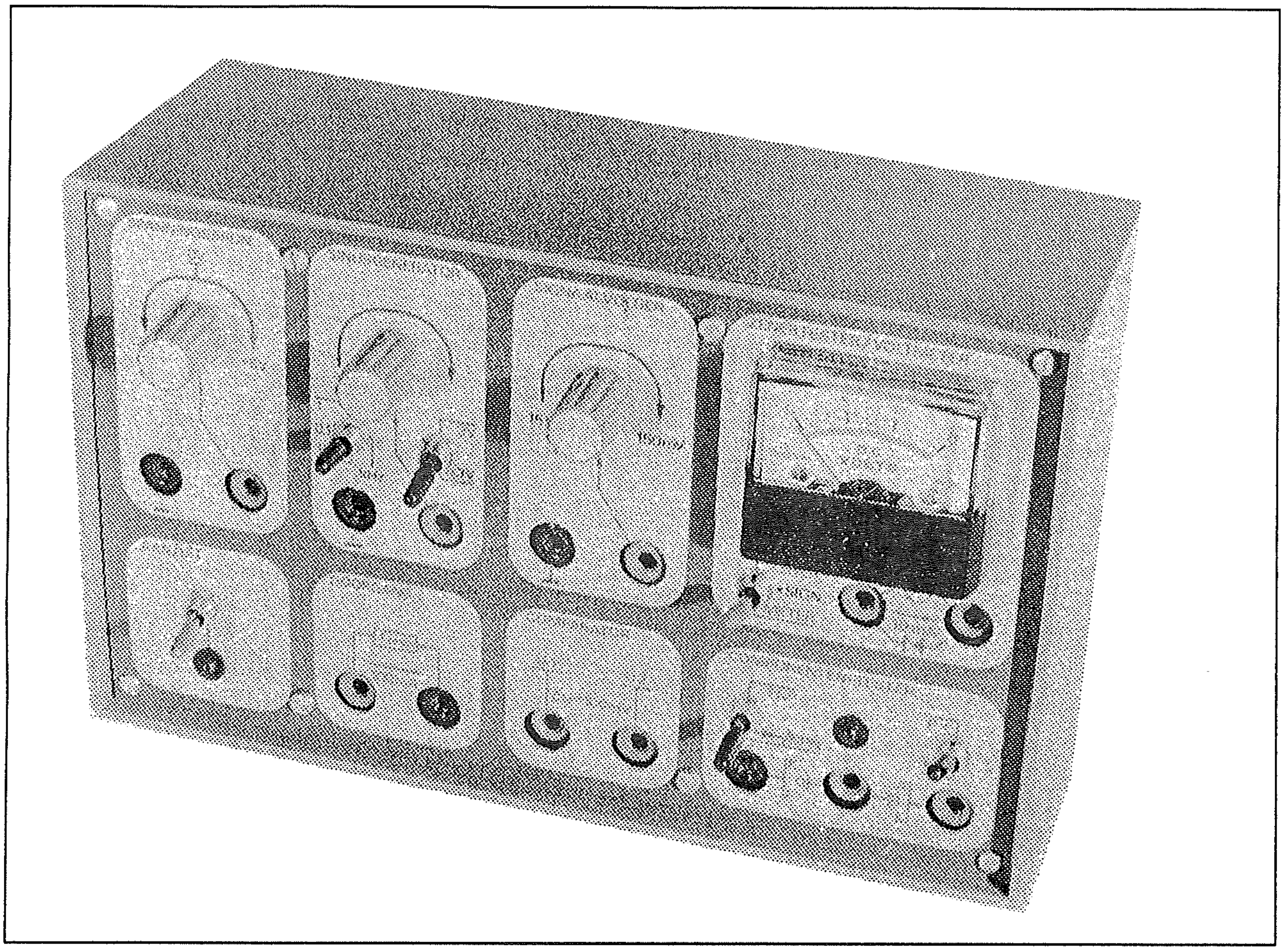


Figuur 4/7.32-18: De constructie van de twee printen, de montageplaat en de frontplaat.

Men kan dit, zo goed en zo kwaad het gaat, natekenen of beter, wie erg handig is met werken met foto-gevoelig aluminium kan het transparante ontwerp gebruiken om zo'n velletje aluminium te belichten. Heeft men alle gaten geboord en gezaagd, dan kunnen de twee printen, de montageplaat en de frontplaat volgens figuur 4/7.32-18 worden samen geschroefd. Nadat men in de achterwand van de TEKO-kast een gaatjesraster voor het geluid van de luidspreker heeft geboord en dit onderdeel met twee componenten-kit op de binnenzijde van de kast heeft gemonteerd, kan de laatste bedrading worden aangebracht (netkabel en luidspreker) en het geheel in de kast geschroefd.

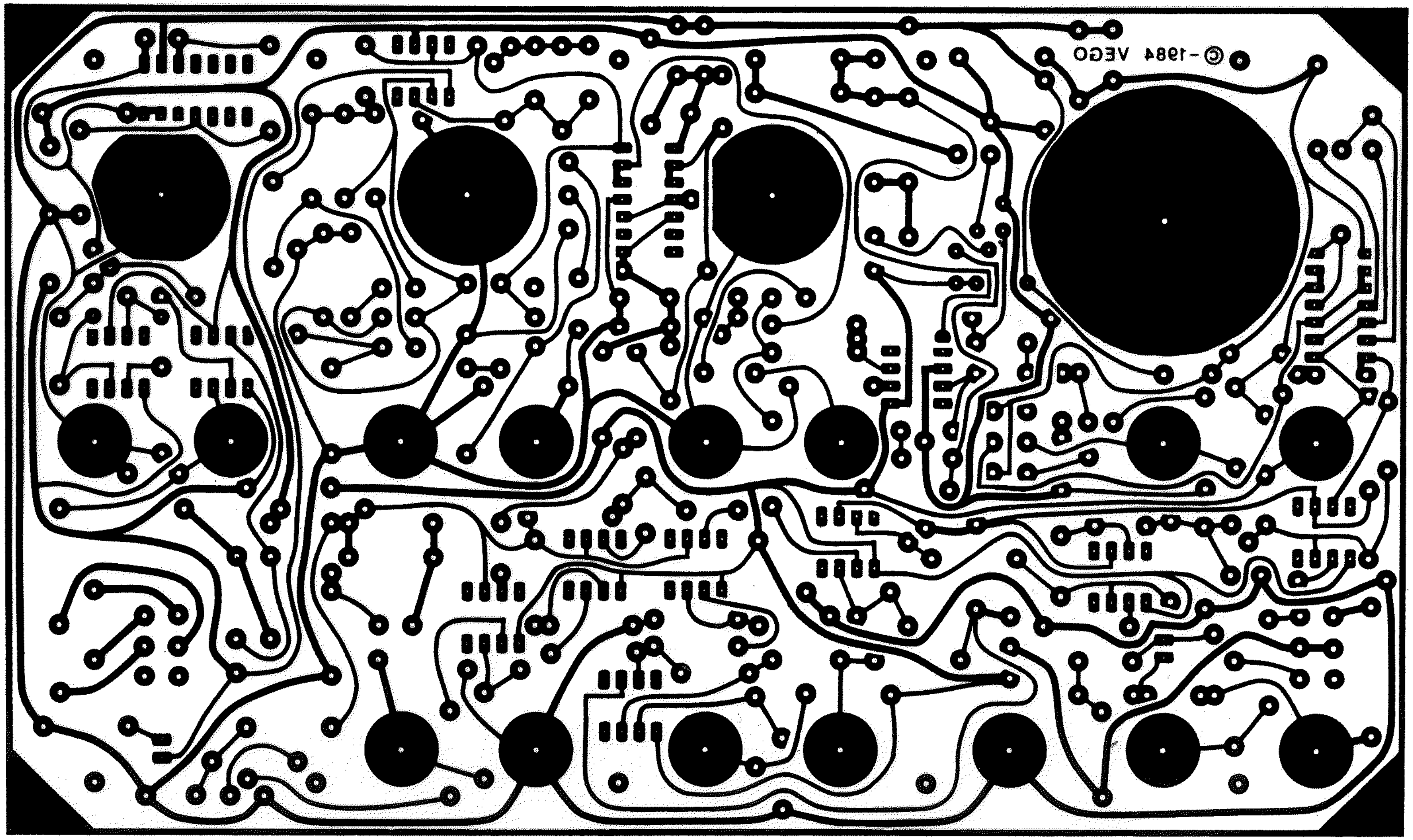
De foto van figuur 4/7.32-20 toont het fraaie eindresultaat van alle inspanningen: een klein maar fijn meetapparaatje, waar iedere nabouwer veel plezier aan zal beleven!

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



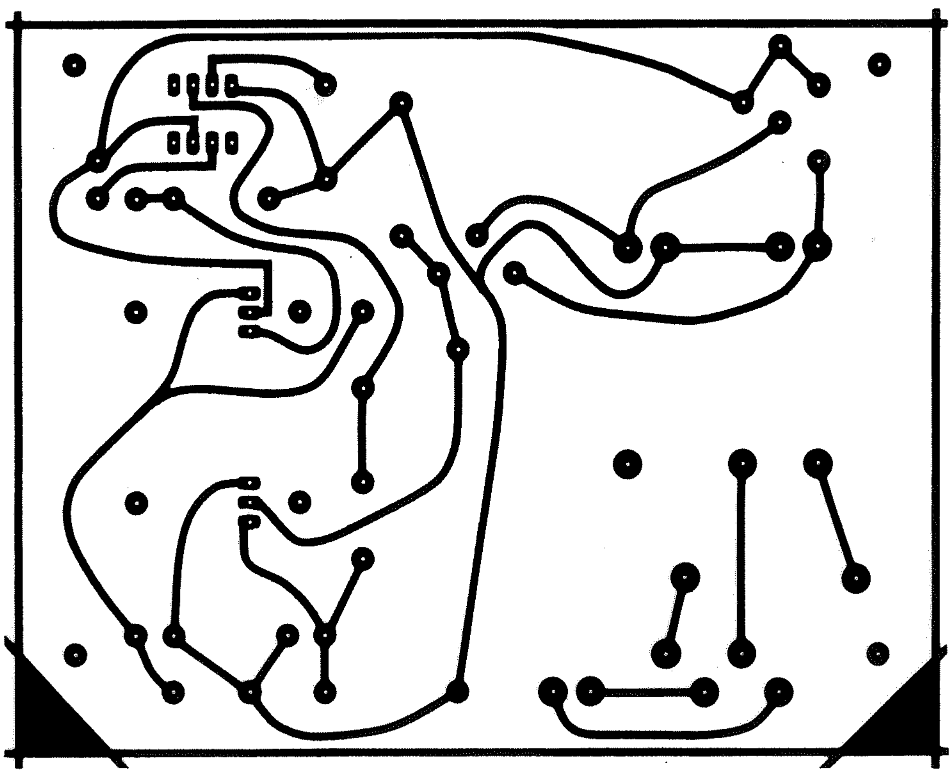
Figuur 4/7.32-20: Het proto-type van het beschreven "universeel meetapparaat".

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



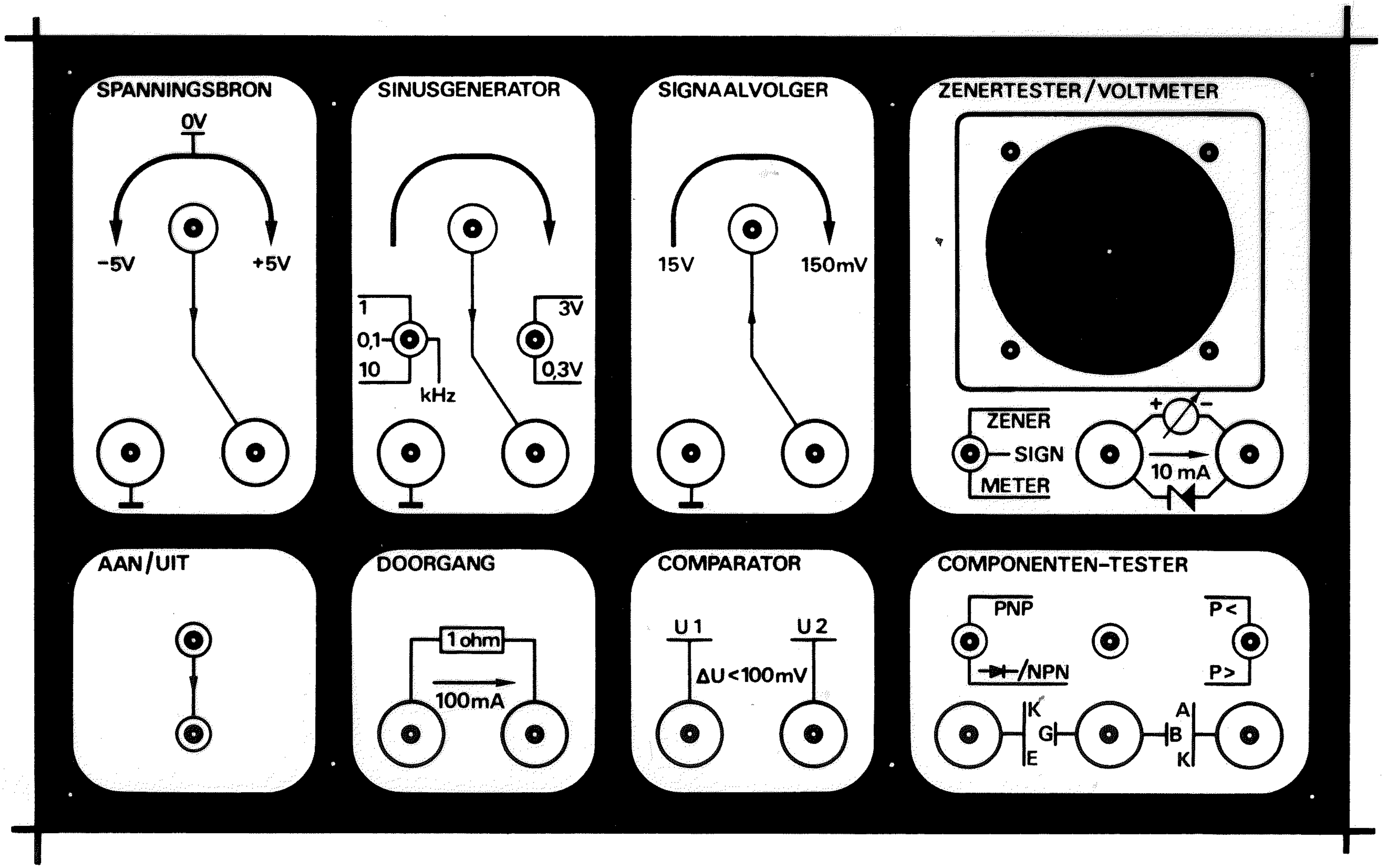
Figuur 4/7.32-12: De hoofdprint.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



Figuur 4/7.32-14: De voedingsprint.

7.32 Universeel meetapparaat voor de hobby-service



Figuur 4/7.32-19: Ontwerp van de frontplaat.

4/7.33

Kristal-tester met LED-indicatie

Inleiding

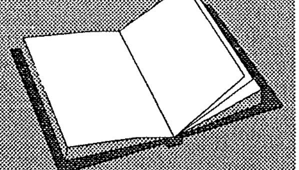
Een kristal is een onderdeel, waarvan het voornaamste bestanddeel bestaat uit een zeer dun plaatje piëzo-ceramisch materiaal. Dit plaatje is in een houdertje geplaatst en maakt via twee veercontacten elektrische verbinding met de buitenwereld. Een kristal is dus niet zo robuust en bijvoorbeeld niet bestand tegen zware mechanische belastingen, zoals schokken. Kristallen worden tegenwoordig vaak toegepast en iedere hobbyist zal dan ook wel een stelletje kristallen in de "lijkenkist" hebben liggen. Maar werken deze nog? Met de in dit hoofdstuk beschreven kleine schakeling kan men alle kristallen met een fundamentele frequentie tussen 1 MHz en 30 MHz snel testen. Het kristal wordt in de schakeling opgenomen, men drukt op de drukknop "TEST" en twee LED'jes geven aan of het kristal oscilleert of niet. Als het kristal in de voorgestelde schakeling niet wil oscilleren kan men er zeker van zijn dat het onderdeel defect is.

Het schema

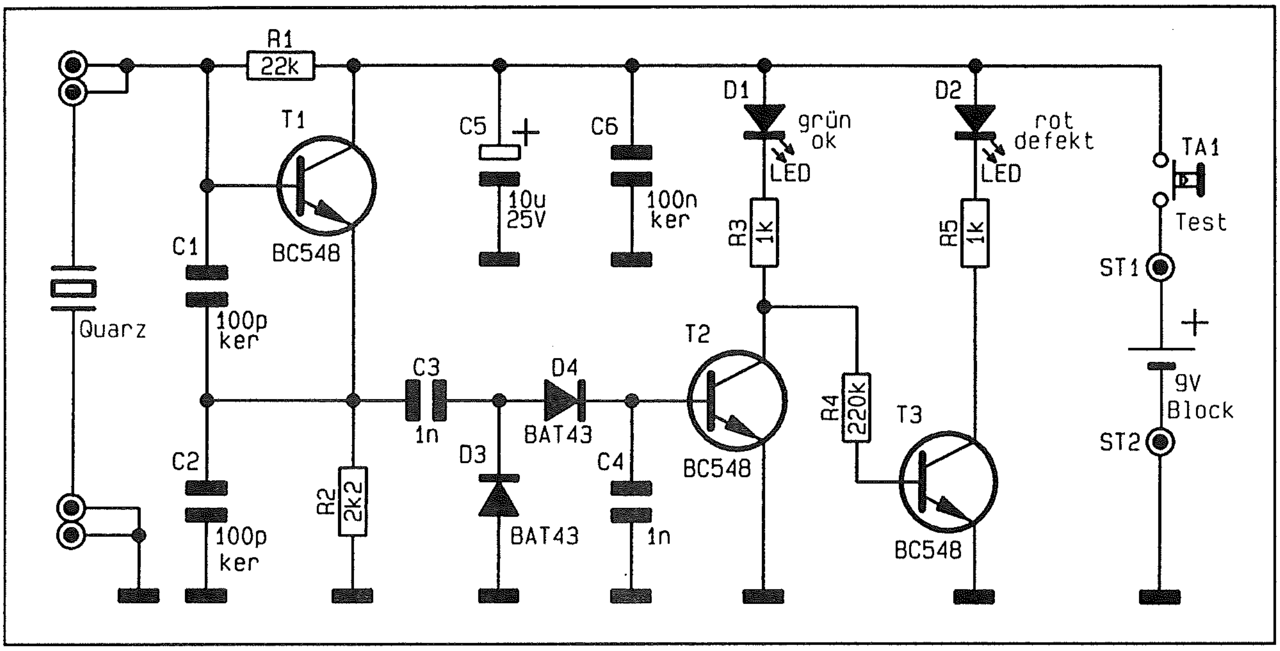
Het volledig schema van deze kleine tester is getekend in figuur 4/7.33-1. Het te testen kristal wordt aangesloten tussen de massa en de basis van transistor T1. Deze halfgeleider vormt, samen met de condensatoren C1 en C2 en de weerstanden R1 en R2, een Colpitts-oscillator. Deze schakeling is zo opgezet dat ieder kristal, wat ook de kwaliteitsfactor ervan mag wezen, de schakeling aan het oscilleren zet en wel op de grondfrequentie van het kristal.

Het oscillatorsignaal wordt op de emitter van T1 afgetakt en aangeboden aan een spanningsverdubbelaar/gelijkrichter. De diode D3 zorgt ervoor dat de rechter plaat van de condensator C3 niet meer dan 0,7 V negatief kan worden. In dat geval gaat de diode immers geleiden en de stroom zorgt ervoor dat de condensator zo ver wordt ontladen tot de spanning op de rechter plaat aan de gestelde voorwaarde voldoet. Over de diode D3 staat dus een positief signaal en dit wordt door de diode D4 gelijkgericht. De diodestroom zal condensator C4 positief opladen, zodat vrijwel het volledige signaal van de oscillator wordt omgezet in een positieve spanning. Als de spanning over de condensator C4 echter positiever wordt dan 0,7 V gaat transistor T2 geleiden.

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/3.25
Hoofdstuk 3/4.9
Hoofdstuk 3/4.10.2



7.33 Kristal-tester met LED-indicatie



Figuur 4/7.33-1: Het volledig schema van de kristal-tester.

De LED D1 in de collector gaat branden, hetgeen wil zeggen dat de oscillator oscilleert en het kristal dus nog goed werkt. De spanning op de collector van T2 gaat naar nul, de transistor T3 staat in sper, de LED D2 is gedoofd. Als de oscillator het echter niet doet, zal er over de condensator C4 geen spanning ontstaan. De transistor T2 blijft gesperd, de hoge collectorspanning stuurt via de weerstand R4 een stroom in de basis van transistor T3. Deze gaat geleiden en de rode LED D2 gaat branden. Dit is het signaal dat de oscillator niet werkt en het kristal dus stuk is.

De bouw van de schakeling

De schakeling kan opgebouwd worden op het kleine printje, geschetst in figuur 4/7.33-2 op de transparante pagina. De componentenopstelling is gegeven in figuur 4/7.33-3. De afmetingen van de print zijn aangepast aan inbouw in een zogenoemd "Softline"-kastje van de Duitse fabrikant ELV. Wie zich hier niet aan wil houden, kan het printje natuurlijk ook veel kleiner uitvoeren en zélf een kastje er omheen bouwen. Bij de voorgestelde bouw moet een vijfpolige contactlijst in de print gesoldeerd worden. De middelste pen is niet aangesloten, het te testen kristal moet dan tussen een van de twee linker en een van de twee rechter contacten ingeprikt worden. Natuurlijk kan men dit geheel ook vervangen door twee ***kleine*** draadjes met krokodilklemmen. Let dan echter vooral op het woord ***kleine***! Te lange aansluitdraadjes veroorzaken paracitaire capaciteiten met als gevolg dat de oscillator niet wil starten ook al is het te testen kristal in orde. De voorgestelde methode, waarbij het kristal in de print geplugd kan worden, verdient in ieder geval de voorkeur!

De foto van figuur 4/7.33-4 geeft een impressie van de volledig gemonteerde schakeling.

Bouwpakket informatie

Als extra service aan de nabouwers van deze ELV-schakeling kan nog vermeld

7.33 Kristal-tester met LED-indicatie

worden dat deze kristal-tester in diverse onderdelenzaken leverbaar is als compleet bouwpakket. De samenstelling van dit bouwpakket, inclusief de print, wordt verzorgd door de firma DIL, telefoon 010-485.42.13. Het bestelnummer van het pakket is 12-186-45.

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %

R1	22 kΩ	
R2	2,2 kΩ	
R3,R5	1 kΩ	
R4	220 kΩ	

CONDENSATOREN

C1,C2	100 pF	ceramisch
C3,C4	1 nF	MKH
C5	10 µF	25 V printelco
C6	100 nF	ceramisch

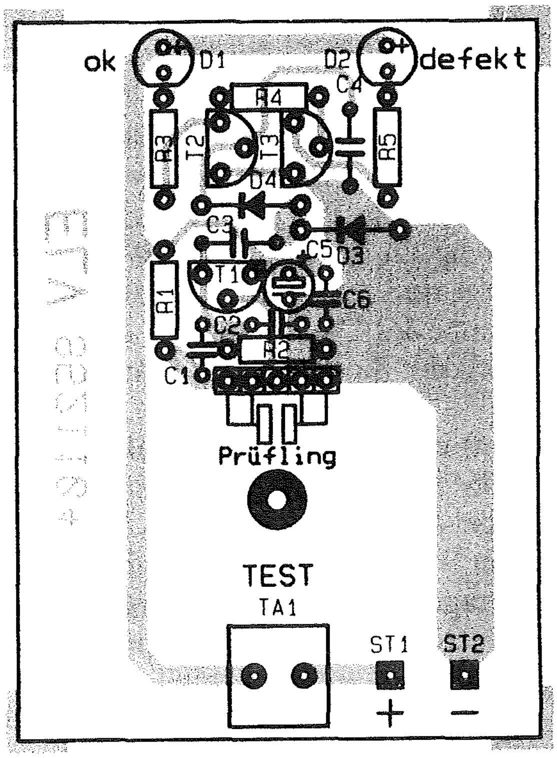
HALFGELEIDERS

D1	LED 5 mm groen
D2	LED 5 mm rood
D3,D4	BAT43
T1,T2,T3	BC548

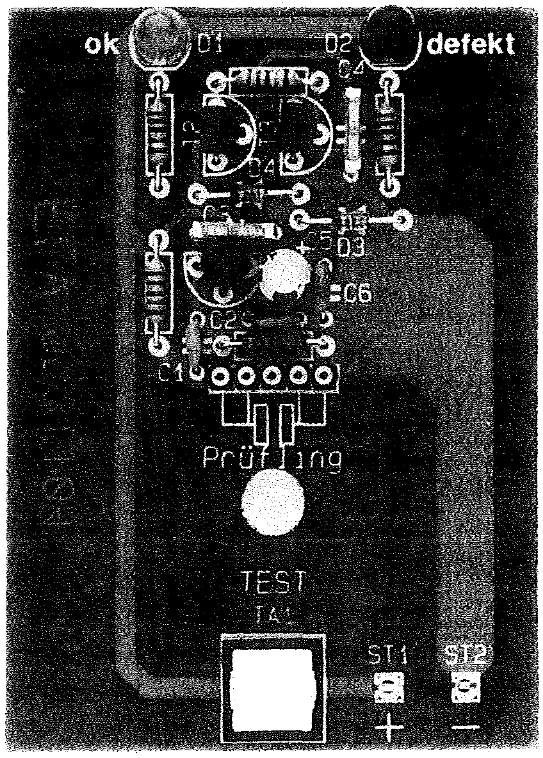
DIVERSEN

1	drukschakelaar, print
2	printsoldeerlipje
1	batterijclip 9 V blok
1	9 V blokbatterij
1	vijfpolige contactlijst, print

7.33 Kristal-tester met LED-indicatie

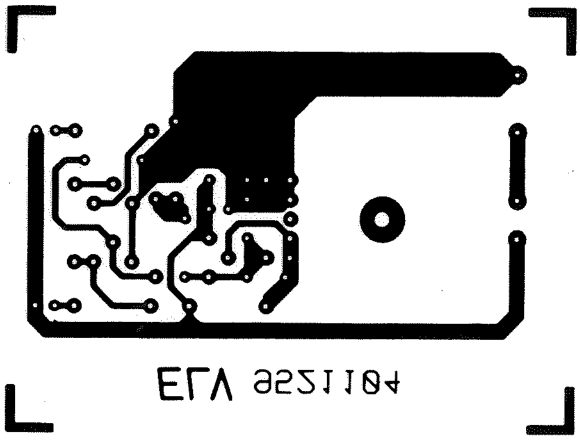


Figuur 4/7.33-3: De componentenopstelling van de kristal-tester.



Figuur 4/7.33-4: Impressie van de volledig gemonteerde schakeling.

7.33 Kristal-tester met LED-indicatie



Figuur 4/7.33-2: De print van de schakeling.

4/7.34

Nano-Ampère voorzet voor digitale universeelmeters

Inleiding

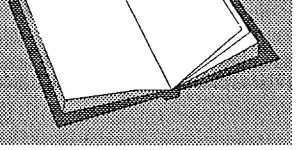
De meeste goedkope digitale universeelmeters hebben een stroomschaal met een gevoeligst bereik van 200 µA. Dat volstaat voor de dagelijkse praktijk, maar soms komt men voor meetopdrachten te staan, waar die gevoeligheid veel te laag is. Te denken valt aan het meten van hardnekkige lekstromen, ruststromen van in stand-by geschakelde IC's, de ingangsstromen van moderne operationele versterkers met FET-ingangen, etc.
De in dit hoofdstuk voorgestelde schakeling wordt verbonden met een digitale universeelmeter met een meetbereik van 200 mV.
De schakeling converteert de te meten ingangsstroom dus naar een gelijkspanning. De volle schaal meetbereiken, dus met 200 mV op de uitgang, zijn:
- 2 mA;
- 200 µA;
- 20 µA;
- 2 µA;
- 200 nA.

Dat betekent dat men in de gevoeligste stand een stroom van een paar nA zonder problemen kan meten!
Ingangsstromen van moderne operationele versterkers zijn dus zonder meer goed en nauwkeurig meetbaar, terwijl er wel geen IC op de markt zal zijn, waarvan de stand-by stroom onder de meetbare waarde ligt.

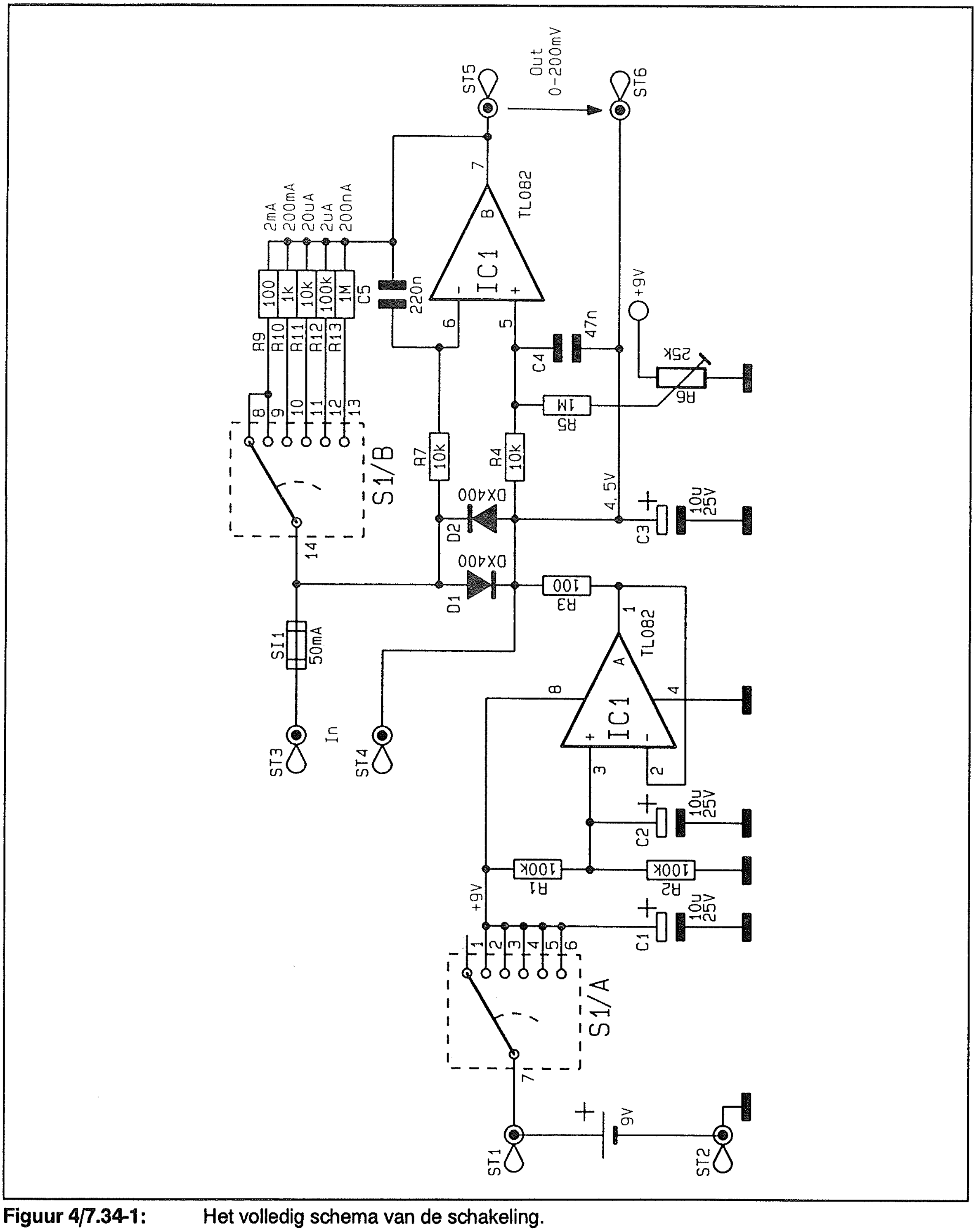
Het schema

Het schema van deze nano-Ampère meter is getekend in figuur 4/7.34-1. De schakeling wordt gevoed uit een blokbatterij van 9 V, die wordt aangesloten tussen de klemmen ST1 en ST2. Schakelaar S1 is de bereikenomschakelaar. In de getekende stand is de schakeling uitgeschakeld, het segment S1/A zorgt ervoor dat in alle overige standen de voeding wordt doorverbonden met de schakeling. De operationele versterker IC1A wekt een "virtuele massa" op, gelegen op de helft van de voedingsspanning, dus 4,5 V. Deze opamp is als buffer geschakeld, hetgeen garant staat voor een zeer lage uitgangsimpedantie. De niet-inverterende ingang wordt via de weerstandsdeler R1/R2 ingesteld op de helft van de batterijspanning. Deze spanning wordt ontkoppeld via de condensator C2 en staat op de uitgang. Deze uitgang vormt nu de massa voor de rest van de schakeling.

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/8.2.2.2
Hoofdstuk 4/7.17



7.34 Nano-Ampère voorzet voor digitale universeelmeters



Figuur 4/7.34-1: Het volledig schema van de schakeling.

7.34 Nano-Ampère voorzet voor digitale universeelmeters

De positieve pool van de batterij vormt dan de positieve voedingsspanning van +4,5 V, de negatieve pool de negatieve voedingsspanning van -4,5 V. Op deze manier kan men de schakeling toch symmetrisch voeden.

De kring, waarin men de stroom wil meten, wordt onderbroken en de twee aansluitingen van de onderbreking worden aangesloten tussen de punten ST3 en ST4. Stel dat de stroomrichting van ST3 naar ST4 is. De stroom zou via de zekering SI1 en de weerstand R7 naar de inverterende ingang van operationele versterker IC1B kunnen vloeien. Daar stuit de stroom echter op de zeer hoge ingangsweerstand van de operationele versterker. Omdat er een tweede stroomkring aanwezig is die een veel en veel lagere weerstand heeft, zal de stroom de weg van de minste weerstand kiezen en via deze tweede kring verder vloeien. Deze tweede kring bestaat uit een der weerstanden R9 tot en met R13 en de uitgang van IC1B. Deze uitgang is laag-impedant en de stroom vloeit verder af naar de negatieve voedingsaansluiting van de op-amp. Vandaar vloeit de stroom verder naar pen 4 van IC1A, naar de uitgang van deze schakeling en via weerstand R3 naar de klem ST4. Tussen ST3 en ST4 kan dus, weliswaar op een vreemdsoortige manier, een stroom vloeien.

De vraag is wat het vloeien van deze stroom tot gevolg heeft. Stel dat er een meetstroom van 2 mA vloeit en dat weerstand R9 met de schakelaar S1/B is geselecteerd. De stroom wekt over de geselecteerde weerstand een spanningsval op. Hierdoor zou er op de niet-inverterende ingang van operationele versterker IC1B een spanning willen ontstaan. De niet-inverterende ingang is echter via de weerstand R4 verbonden met de virtuele massa. Iedere tegengekoppelde operationele versterker heeft als eigenschap dat de schakeling zo gaat werken dat er geen spanningsverschil optreedt tussen de beide ingangen. Omdat de niet-inverterende ingang op massapotentiaal staat, zal ook de spanning op de inverterende ingang naar de massa worden getrokken. Dat kan alleen maar als de uitgang van de op-amp op een bepaalde spanning komt te staan, die even groot, maar tegengesteld, is dan de spanningsval die de te meten stroom over de geselecteerde weerstand zou genereren. Nu wordt de grootte van die spanning bepaald dor de wet van Ohm:

$U = I * R$

of, in het getekende geval:

$U = 2\ mA * 100\ \Omega = 200\ mV$

Deze spanning zou op de inverterende ingang komen te staan. De op-amp zal eenzelfde spanning op zijn uitgang zetten, zodat ook de inverterende ingang op de massa komt te staan.

Conclusie: Dan zij de keuze van de bereiken-weerstanden R9 tot en met R13 wordt de te meten ingangsstroom omgezet in een spanning, die ***numeriek*** dezelfde getalsgrootte heeft. Een stroom van 2 mA wordt omgezet in 200,0 mV, een stroom van 1,234 mA word omgezet in een spanning van 123,4 mV. Sluit men de uitgang van het apparaatje aan op de ingangen van een digitale meter, dan zal deze meter weliswaar een spanning aangeven, maar de afgelezen numerieke waarde kan onmiddellijk als de waarde van de te meten stroom geïnterpreteerd worden!

Stroom meten zonder spanningsval!

Uit de bespreking van de fundamentele werking van de schakeling kan men een zeer belangrijke eigenschap van deze stroommeter afleiden. Beide ingangen van de operationele versterker IC1B staan op massa-potentiaal. De ingangen zijn

echter via de zeer kleine weerstanden R4 en R7 met de twee ingangen van de schakeling verbonden. Dat betekent dus dat er ***géén spanningsverschil tussen beide ingangen staat!*** Deze eigenschap maakt dit schakelingetje uniek. De meeste stroommeters beïnvloeden de schakeling waarin gemeten wordt op de een of andere manier. Zij introduceren immers een extra spanning, omdat over de inwendige weerstand van de stroommeter een spanningsval ontstaat. Deze extra (schakeling-vreemde) spanning kan de werking soms op een ongunstige manier beïnvloeden. Gebruikt men de beschreven schakeling om stromen te meten, dan heeft men hier dus absoluut geen last van!

Beveiligingen
Een stroommeter is een kwetsbaar instrument. Sluit men per ongeluk een spanning tussen de meetklemmen, dan gaat er een grote stroom vloeien en is de schakeling stuk. Vandaar dat het noodzakelijk is beveiligingen in te bouwen Bij deze schakeling bestaat deze beveiliging uit de dioden D1 en D2 en de zekering SI1. De speciale dioden met zeer lage eigen lekstroom zorgen ervoor dat tussen de klemmen ST3 en ST4 nooit meer dan ongeveer 0,65 V kan komen te staan. Wordt de spanning groter, dan gaat een van de dioden geleiden en de grote stroom die dan vloeit heeft tot gevolg dat de 50 mA zekering doorbrandt. Het is absoluut verboden de speciale dioden te vervangen door ordinaire exemplaren als 1N4148. Deze hebben een zo grote lekstroom dat de laagste meetbereiken van de schakeling volledig onbruikbaar zouden worden.
Naast de beveiligingsschakelingen bevat het schema twee condensatoren, C4 en C5, die aanwezig zijn ter stabilisatie van de schakeling rond IC1B. Deze condensatoren beperken de bandbreedte en verhinderen dat de schakeling hoogfrequent gaat oscilleren.

Bouw van de schakeling
Dit voorzetapparaatje kan volledig opgebouwd worden op de print die als figuur 4/7.34-2 is getekend op de transparante printpagina. De componentenopstelling is getekend in figuur 4/7.34-3. Nadat alle onderdelen zijn gesoldeerd kan men de batterijklem aansluiten tussen de soldeerlipjes ST1 (+) en ST2 (-) en de meetingangen verbinden met de soldeerlipjes ST3 en ST4.
De foto van figuur 4/7.34-4 geeft een indruk van het afgemonteerde printje.

Afregelen
De schakeling wordt verbonden met de op 200 mV DC geschakelde universeelmeter en de bereikenschakelaar wordt in de meest gevoelige stand gezet. De twee meet-ingangen ST3 en ST4 worden kortgesloten. Men verdraait de instelpotentiometer R6 tot de meter precies “000.0 mV” aanwijst. De offset van de operationele versterker is hiermee gecompenseerd en de schakeling is klaar voor gebruik.

Bouwpakket informatie
Als extra service aan de nabouwers van deze ELV-schakeling kan nog vermeld worden dat deze nA-meter in diverse onderdelenzaken leverbaar is als compleet bouwpakket.
De samenstelling van dit bouwpakket, inclusief de print, wordt verzorgd door de firma DIL, Postbus 5544, 3008 AM Rotterdam, telefoon 010-485.42.13. Het bouwpakket wordt geleverd onder de bestelcode 15750. Op het genoemde adres kan men alle nodige informatie krijgen over prijzen en verkoopadressen.

7.34 Nano-Ampère voorzet voor digitale universeelmeters

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %

R1,R2	100 kΩ
R3	100 Ω
R4,R7	10 kΩ
R5	1 MΩ

WEERSTANDEN, 1/4 W, 1 %

R9	100 Ω
R10	1 kΩ
R11	10 kΩ
R12	100 kΩ
R13	1 MΩ

INSTELPOTENTIOMETER, PT10, LIGGEND

R6	25 kΩ

CONDENSATOREN

C1,C2,C3	10 µF	25 V printelco
C4	47 nF	MKH
C5	220 nF	MKH

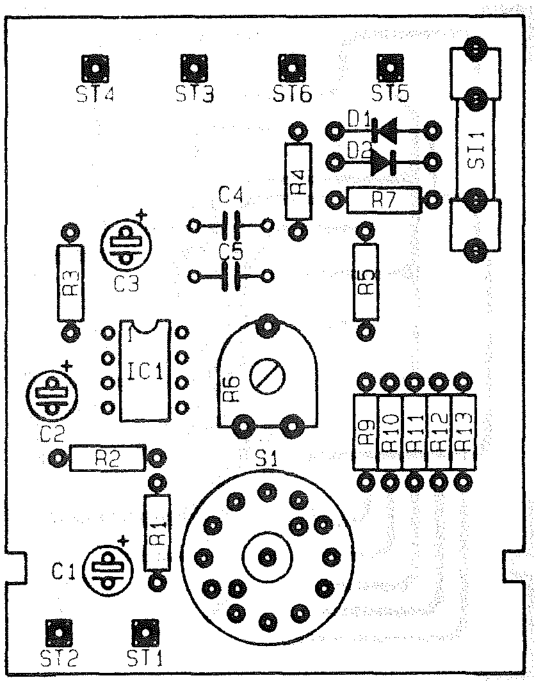
HALFGELEIDERS

D1,D2	DX400
IC1	TL082

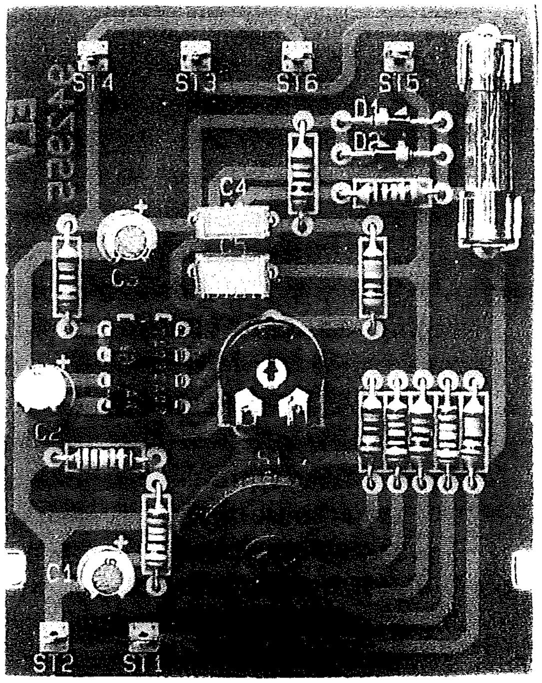
DIVERSEN

1	printzekeringhouder
1	zekering, 50 mA, snel
1	printdraaischakelaar, 2 x 6
1	knop voor draaischakelaar
6	printsoldeerlipje
1	batterijklip voor 9 V blokbatterij
1	9 V blokbatterij
1	8-polig IC-voetje

7.34 Nano-Ampère voorzet voor digitale universeelmeters

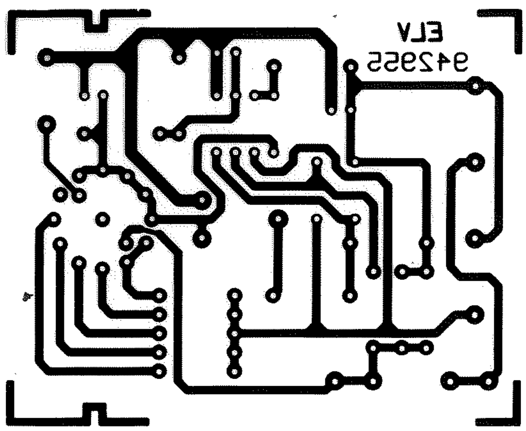


Figuur 4/7.34-3: De componentenopstelling van de schakeling.



Figuur 4/7.34-4: Het prototype van de nA-meter.

7.34 Nano-Ampère voorzet voor digitale universeelmeters



Figuur 4/7.34-2: De print voor de schakeling.

4/7.35

Frequentie meten met een digitale universeelmeter

Inleiding

Moderne digitale universeelmeters meten niet alleen spanningen, stromen en weerstanden, maar ook dB-verhoudingen en capaciteiten. Frequentiebereiken treft men echter alleen aan bij de zeer dure modellen. Een bedrag van *f* 1.000,00 uitgeven voor een universeelmeter zal voor de meeste hobbyisten nu net even buiten de begroting vallen.
Met de in dit hoofdstuk beschreven eenvoudige schakeling kan men echter vrij nauwkeurig lage frequenties meten op gelijk welke digitale universeelmeter. Het apparaatje is een frequentie naar gelijkspanning omzetter en zet dus de aangeboden frequentie om in een gelijkspanning die proportioneel is met de ingangsfrequentie. Het meetbereik loopt van 100 Hz tot 200 kHz en is dus goed genoeg voor de voorkomende metingen in audio apparatuur. Hoewel op een dergelijke manier frequenties meten niet zo nauwkeurig is als met een "echte" digitale frequentiemeter werd de schakeling uitgebreid getest en blijkt een gemiddelde nauwkeurigheid van 1 % gemakkelijk haalbaar. Goed genoeg voor de meeste toepassingen!

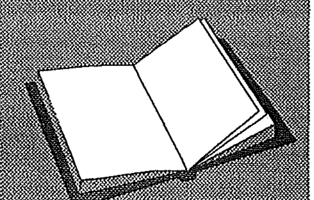
Werkingsprincipe

De schakeling bevat dus een frequentie naar gelijkspanning omzetter, die de grootte van de frequentie van het ingangssignaal omzet in een gelijkspanning waarvan de waarde recht evenredig is met de frequentie. Of, om het ingewikkeld uit te drukken, de schakeling voldoet aan de uitdrukking:

$U_{uit} = f_{in} * \varphi_{cte}$

Die φ_{cte} is een constante factor en door daar een geschikte waarde aan toe te kennen kan men ervoor zorgen dat 1 kHz aan de ingang precies overeenkomt met 100 mV aan de uitgang. Uiteraard zal dan een signaal met een frequentie van 12,34 kHz een spanning van 1,234 V genereren. Als men dus de uitgangsspanning van de omzetter meet met een op het 1,999 V gelijkspanningsbereik geschakelde digitale universeelmeter, dan zal de meter de frequentie van het ingangssignaal onder numerieke vorm weergeven. Wel moet men bij de interpretatie van de uitlezing rekening houden met de omzettingsfactor van 100 mV/kHz! Een veel logischer omzettingsfactor van bijvoorbeeld 1 V/kHz zou de schakeling node-

LEES OOK:
Geen verwijzingen



loos compliceren en het onmogelijk maken om het geheel uit twee 9 V batterijtjes te voeden. De schakeling heeft een theoretisch bereik van 10 Hz tot 20 kHz, wat dus overeenkomt met een uitgangsspanning van 1 mV tot 2 V. Theoretisch, omdat bij het meten van de laagste frequenties vervelende eigenschappen van de gebruikte onderdelen, zoals offset en lekstroom, een rol gaan spelen. Maar toch is het mogelijk met een bevredigende nauwkeurigheid frequenties vanaf 100 Hz te meten. Omdat een maximaal bereik van 20 kHz natuurlijk wel erg laag is, is er een in- of uitschakelbare tiendeler in de schakeling opgenomen. Met ingeschakelde tiendeler kan men meten tussen 1 kHz en 200 kHz.

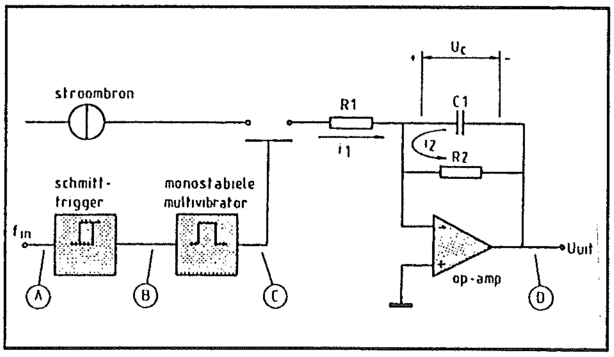
Achter de ingang zit een versterkertje, waardoor de gevoeligheid van het apparaatje tot 100 mV_{eff} wordt opgeschroefd. Dat is ruim voldoende voor het eenvoudige werk in het hobbylab.

Het blokschema

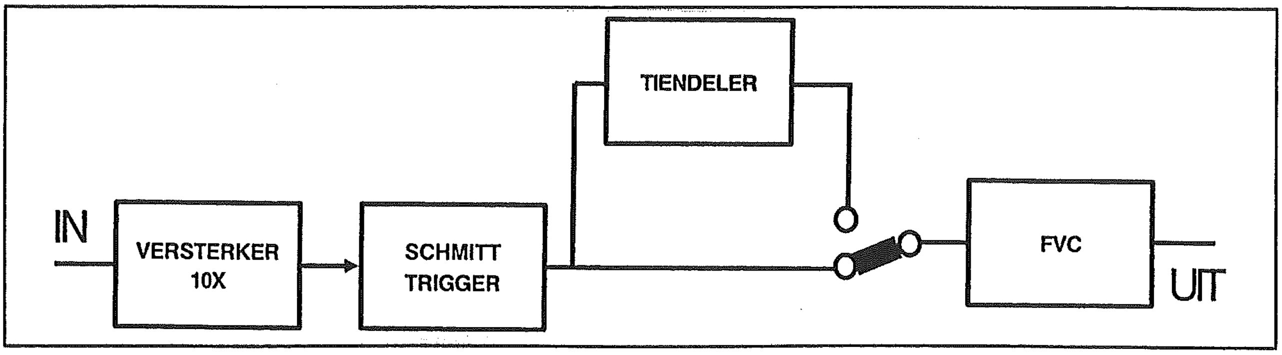
Aan de hand van deze bespreking van de schakeling kan men het blokschema voorstellen als getekend in figuur 4/7.35-1. De te meten ingangsspanning wordt aangeboden aan een zeer eenvoudig opgezette x10 versterker, die direkt gevolg wordt door een CMOS Schmitt-trigger. Deze versterker is noodzakelijk omdat de schakeldrempels van een CMOS-schakeling rond de 1,5 V liggen, wat uiteraard veel te groot is. Met de versterking van tien maal komt de gevoeligheid op 100 mV effectief te liggen, wat in de dagelijkse praktijk voldoet. De uitgang van de Schmitt-trigger gaat naar één contact van de bereikenschakelaar en naar de clock-ingang van de tiendeler. Ook deze schakeling is in CMOS opgebouwd. De uitgang van de teller stuurt uiteraard het tweede contact van de omschakelaar. Het moedercontact van de schakelaar gaat naar de eigenlijke FVC-schakeling.

Het FVC-principe

Hoewel er diverse systemen te bedenken zijn om een frequentie in een spanning om te zetten werken alle geïntegreerde omzetters volgens hetzelfde principe. Dat principe is getekend in figuur 4/7.35-2 en wordt besproken aan de hand van de spanningsvormen van figuur 4/7.35-3.

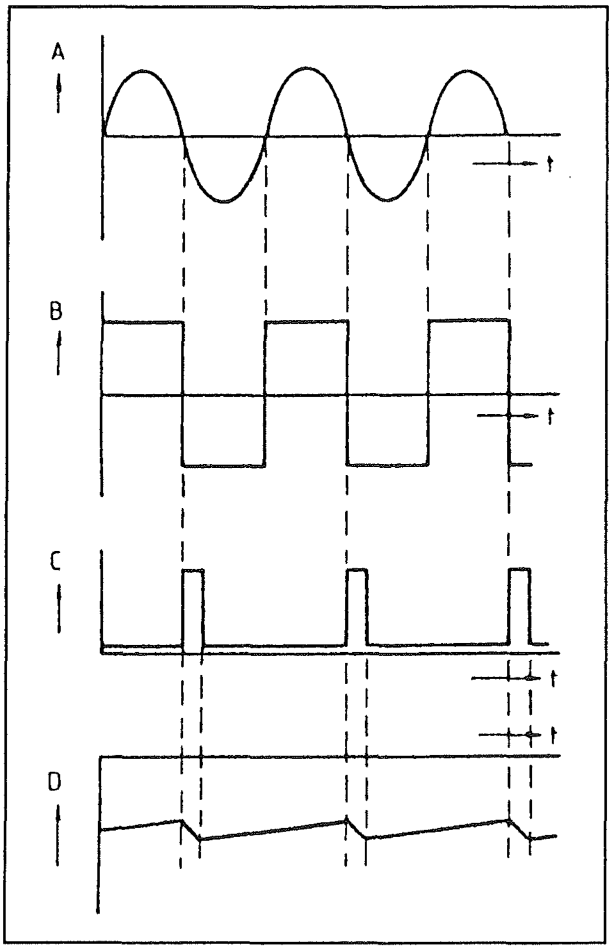


Figuur 4/7.35-2: Blokschema van een frequentie naar spanning omzetter.



Figuur 4/7.35-1: Het blokschema van de schakeling.

7.35 Frequentie meten met een digitale universeelmeter



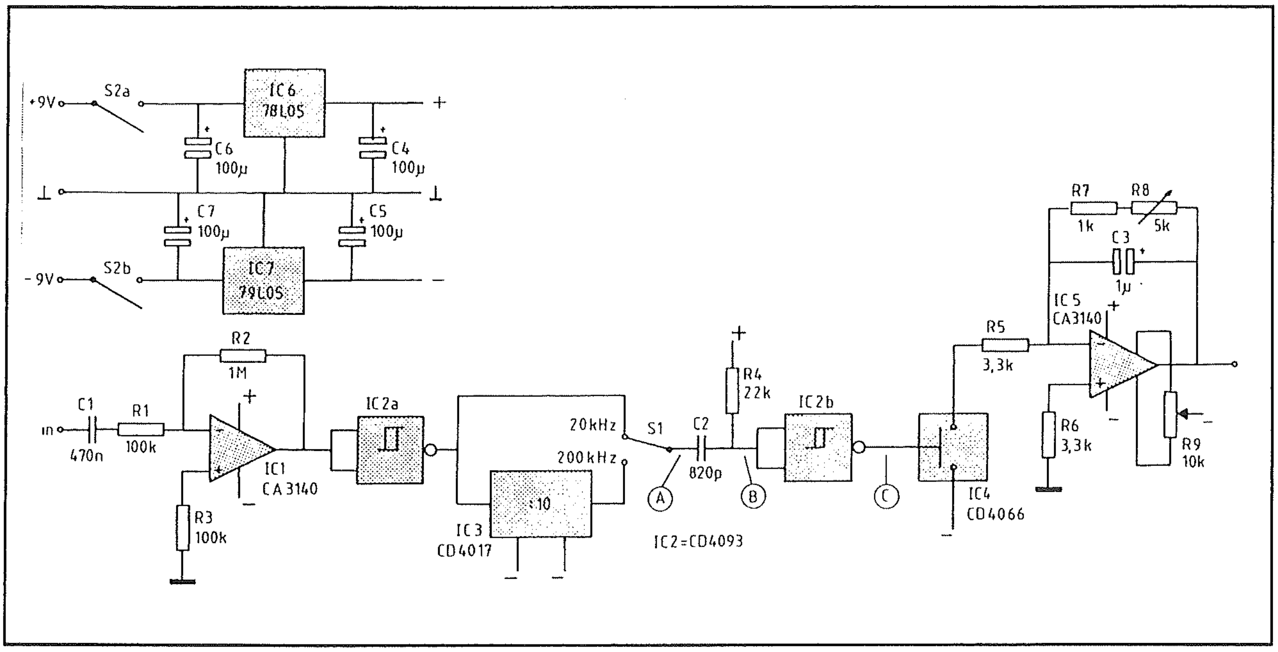
Figuur 4/7.35-3: Spanningsvormen in de schakeling van figuur 4/7.35-2.

De ingangsspanning (A) met frequentie f_{in} wordt eerst omgezet in een mooie digitale puls (B) met behulp van een Schmitt-trigger. Deze puls wordt gebruikt voor het triggeren van een monostabiele multivibrator. Het gevolg is dat er voor iedere periode van het ingangssignaal een smalle puls (C) ontstaat. Hoe hoger de frequentie van het signaal, hoe meer pulsjes er op punt (C) per seconde zullen ontstaan. Alle pulsjes zijn natuurlijk even breed, zodat men kan stellen dat de puls/pauze-verhouding op punt (C) recht evenredig is met de frequentie van het ingangssignaal. Deze pulsen sturen een elektronische schakelaar S, die de schakel vormt tussen een stroombron en een integrerende operationele versterker. Deze twee schakelingen hebben tot taak de puls/pauze-verhouding van de pulstrein op punt (C) om te zetten in een gelijkspanning die ermee evenredig is. Dat gaat al volgt. Als er op punt (C) een puls verschijnt, dan wordt de elektronische schakelaar gesloten en zal de stroombron een constante stroom I_1 in de weerstand R1 sturen. Omdat de niet-inverterende ingang van de operationele versterker aan de massa hangt en dus op nul volt staat, zal de spanning op de inverterende ingang ook gelijk zijn aan 0 V. De stroom i_1 kan dus alleen afvloeien via de condensator C1 naar de uitgang van de op-amp. De condensator wordt dus gedurende de pulstijd van C geladen met een constante stroom en het gevolg is dat de spanning over dit onderdeel lineair zal stijgen. Omdat de schakeling echter de linker plaat van de condensator op nul volt houdt (vanwege de werking van de op-amp) zal de uitgangsspanning (D) negatief worden.

Na het wegvallen van de puls op C zal de condensator gaan ontladen via de parallel geschakelde weerstand R2. Omdat de linker plaat van de condensator op de massa staat zal de grootte van deze stroom I_2 alleen afhankelijk zijn van de weerstandswaarde en de condensatorspanning.

De twee stromen, I_1 die gedurende een korte tijd de condensator oplaadt en I_2 die gedurende de rest van de periode de condensator ontlaadt, zullen tot gevolg hebben dat er een evenwichtsituatie ontstaat, waarbij er evenveel lading in de condensator wordt gepompt als er uit wordt gezogen. De spanning over het onderdeel en dus op de uitgang van de schakeling is een gelijkspanning, waarop een kleine rimpel zit.

7.35 Frequentie meten met een digitale universeelmeter



Figuur 4/7.35-4: Het volledig schema van de schakeling.

Deze wordt veroorzaakt door het laden en ontladen. Het zal duidelijk zijn dat als de frequentie van het signaal stijgt en er dus meer pulsstromen I_1 per seconde naar de condensator vloeien er meer spanning over de condensator ontstaat alvorens de evenwichttoestand bereikt is. Verder stijgt de spanning over de condensator lineair met de frequentie. Er bestaat immers een recht evenredig verband tussen de frequentie en de aan/uit-verhouding van de puls op C. Vanwege de constante stroombron bestaat er een tweede evenredig verband tussen de aan/uit-verhouding van deze puls en de hoeveelheid lading die in de condensator wordt gepompt.

Het praktisch schema

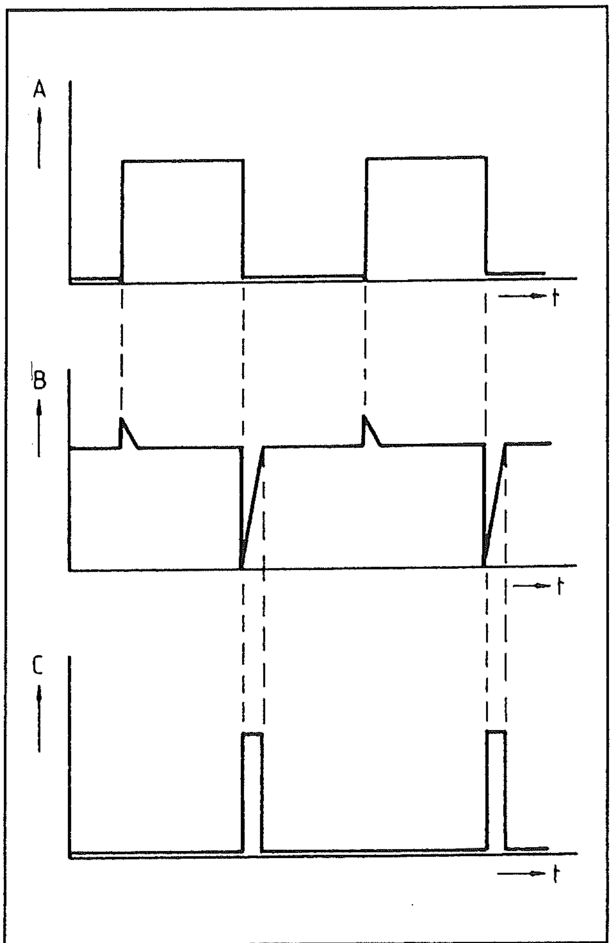
Het volledig schema van de schakeling is getekend in figuur 4/7.35-4. De ingangsversterker bestaat uit een standaard inverterende versterker rond een op- amp. De toegepaste CA3140 heeft een bandbreedte die groot genoeg is om zonder merkbare verzwakking signalen met een frequentie van 200 kHz tien maal te versterken. Om geen last te hebben van een eventueel op de meetspanning aanwezige gelijkspanning wordt de ingang door middel van de scheidingscondensator C1 met de versterker verbonden. Als Schmitt-trigger wordt een poort uit de viervoudige NAND-poort 4093 met ST-ingangen gebruikt. Ook de teller is een standaard CMOS-schakeling, namelijk een 4017. Deze tienteller heeft een hoog actieve RESET en CLOCK INHIBIT, vandaar dat deze twee lijnen aan de massa worden gelegd.

In deze toepassing moet de tienteller immers niets anders doen dan het ingangssignaal continu tellen en om de tien pulsen een uitgangspuls opwekken.

De monostabiele generator wordt opgebouwd rond een tweede poort uit de 4093. De twee ingangen worden door de weerstand R4 met de positieve voeding verbonden, zodat de uitgang laag is. Het ingangssignaal wordt gedifferentieerd door het netwerkje C2/R4, zodat er smalle naald-

7.35 Frequentie meten met een digitale universeelmeter

pulsen ontstaan op de ingangen van de poort, zie figuur 4/7.35-5.



Figuur 4/7.35-5: De werking van de monostabiele multivibrator.

De positieve naalden hebben geen effect op de schakeling, de negatieve naalden zorgen ervoor dat op de uitgang korte smalle positieve pulsen ontstaan met een constante breedte. Deze positieve pulsen sturen de elektronische schakelaar IC4, een/vierde uit een 4066, in en uit geleiding. Omdat de inverterende ingang van de operationele versterker op de massa staat is het niet echt noodzakelijk een constante stroombron te gebruiken. Deze stroombron kan vervangen worden door een weerstand R5, geschakeld tussen de gestabiliseerde negatieve voedingsspanning van -5 V en de genoemde ingang. Omdat beide uiteinden van de weerstand op een constante spanning staan zal ook de stroom die door de weerstand vloeit constant zijn. Het voordeel van het gebruik van een negatieve referentiespanning is dat de stromen omgekeerd dan getekend in figuur 4/7.35-2 door de schakeling gaan vloeien en de uitgangsspanning van de FVC dus positief wordt.
Het is absoluut noodzakelijk de offset van de operationele versterker die de integrator vormt te compenseren, vandaar de instelpotentiometer R9.
De schakeling wordt geijkt door het instellen van de ontlaadstroom van de condensator. Met behulp van instelpotentiometer R8 kan de schakeling dus afgeregeld worden op volle schaal.

De voeding
De schakeling is met opzet ontworpen met een lage symmetrische voeding van +/-5 V. Dit heeft als voordeel dat de schakeling uit twee 9 V batterijen gevoed kan worden en een dure, plaatsrovende en vanwege de netkabel vervelende netvoeding kan vervallen. Uit de twee batterijspanningen worden door middel van een 78L05 en een 79L05 symmetrische spanningen van +/-5 V afgeleid. De stabiliteit van de -5 V is groot genoeg voor het voeden van de "stroombron" R5.

De bouw van de schakeling
Voor de omvormer is een printje ontworpen, voorgesteld als figuur 4/7.35-6 op de transparante print-pagina. Deze print kan aan de hand van de onderdelenopstelling van figuur 4/7.35-7 volgebouwd worden. Let op de draadbrug naast R4! Voor de twee instelpotentiometers worden CERMET meerslagen trimmers gebruikt, om-

7.35 Frequentie meten met een digitale universeelmeter

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %

R1,R3	100 kΩ	
R2	1 MΩ	
R4	22 kΩ	
R5,R6	3,3 kΩ	
R7	1 kΩ	

INSTELPOTENTIOMETERS, CERMET, 10 SLAGEN

R8	5 kΩ
R9	10 kΩ

CONDENSATOREN

C1	470 nF	MKH
C2	820 pF	ceramisch
C3	1 µF	16 V printelco
C4,C5,C6,C7	100 µF	16 V printelco

HALFGELEIDERS

IC1,IC5	CA3140 op-amp
IC2	4093 CMOS Schmitt-trigger NAND
IC3	4017 CMOS tiendeler
IC4	4066 CMOS analoge schakelaar
IC6	78L05 +5 V stabilisator
IC7	79L05 -5 V stabilisator

DIVERSEN

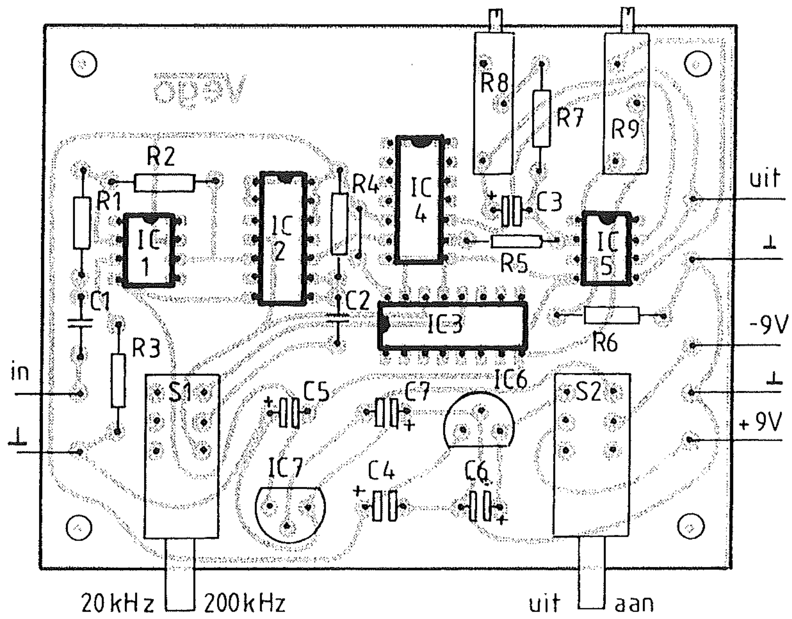
2 x omschakelaar horizontale printmontage
2 x DIL-8 IC-voetje
2 x DIL-14 IC-voetje
1 x DIL-16 IC-voetje
7 x printsoldeerlipje

dat het alleen met dit soort onderdelen mogelijk is de schakeling nauwkeurig af te regelen. In het prototype werden printschakelaars voor printmontage van Schadow gebruikt, maar men kan deze uiteraard ook vervangen door gewone tuimelschakelaars die in het frontplaatje van het kastje worden gemonteerd en door middel van draadjes met de print verbonden.

Het afregelen

- Offset compenseren
  In eerste instantie wordt de voedingsspanning ingeschakeld en een op 1,999 V gelijkspanningsbereik geschakelde digitale universeelmeter op de uitgang gezet. Met R9 wordt de offset van de op-amp gecompenseerd, men verdraait de loper dus tot op de uitgang precies 0,000 V af te lezen is.
- Afregelen volle schaal
  Nadien schakelt men een sinusgenerator, die een frequentie van precies 20 kHz levert, op de ingang en verdraait R8 tot op de uitgang een spanning van +1,999 V ontstaat. Uiteraard moet bij deze afregeling de bereikenschakelaar in de stand 20 kHz staan!

7.35 Frequentie meten met een digitale universeelmeter



Figuur 4/7.35-7: De componentenopstelling van de schakeling.

Ter controle kan men de sinusgenerator instellen op 10 kHz en observeren of de meter inderdaad de verwachte 1,000 V aanwijst. Men heeft te maken met analoge schakelingen, vergeet dus niet dat er steeds een fout aanwezig is, maar de schakeling moet in dit gebied van het meetbereik toch wel een nauwkeurigheid van ongeveer 1 % hebben.

Een test

Ter illustratie van de prestaties van deze schakeling is in afbeelding 8 een tabel gegeven waarin de echte frequentie van het ingangssignaal, gemeten met een professionele digitale frequentiemeter, wordt vergeleken met de gelijkspanning die op de uitgang van de schakeling verschijnt. Voor een dergelijke eenvoudige schakeling kan dit niet slecht genoemd worden!

INGANGSFREQUENTIE	UITGANGSSPANNING
20 kHz	2,000 V
15 kHz	1,517 V
10 kHz	1,018 V
5 kHz	0,512 V
2 kHz	0,205 V
1 kHz	0,102 V
500 Hz	0,051 V
200 Hz	0,020 V
100 Hz	0,009 V
50 Hz	0,004 V

Figuur 4/7.35-8: De prestaties van de schakeling.

7.35 Frequentie meten met een digitale universeelmeter

4/7.36

Tester voor operationele versterkers

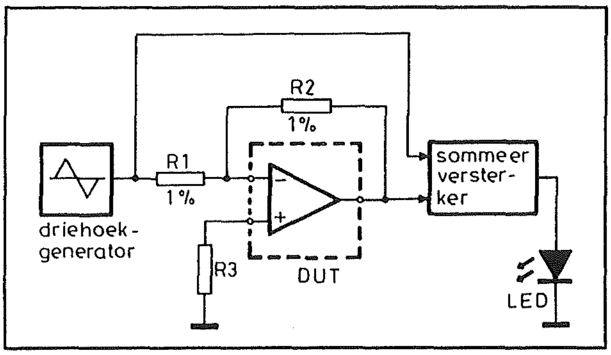
Inleiding

Hoewel een op-amp voor de doe-het-zelver een even gewoon onderdeel als een transistor is en deze kleine achtpootjes spotgoedkoop zijn, heeft het toch wel zin een apparaatje in het lab te hebben, waarmee men even snel kan onderzoeken of een op-amp het nog wel doet. Op die manier kan men de mogelijke verdachten van een niet werkende schakeling in ieder geval weer met een paar onderdelen reduceren, of net niet natuurlijk. Ondanks de robuustheid van deze schakelingen komt het immers toch regelmatig voor dat er tijdens het experimenteren iets fout gaat, waardoor een op-amp sneuvelt.

Ondanks het onoverzichtelijke aanbod (of is het misschien dank zij?) kan men rustig stellen dat de markt zich voor de hobbyist gestandaardiseerd heeft op slechts twee modellen: de aloude 741 voor het gewone werk en de BIFET CA3140 voor het betere werk. Deze twee IC's hebben dezelfde aansluitingen. Wat ligt er dus meer voor de hand dan een eenvoudig testertje ontwerpen waarmee men onmiddellijk, zonder moeilijke toestanden, kan controleren of een op-amp nog aan de verwachtingen voldoet?

Het principe van de test

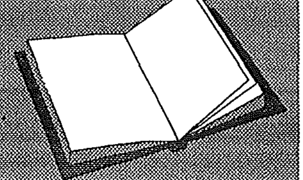
Hoewel er natuurlijk veel mis kan gaan in het interne van een operationele versterker ligt het voor de hand aan te nemen dat een beschadigd of defect exemplaar zelfs de meest eenvoudige opdracht niet meer naar behoren zal uitvoeren.



Figuur 4/7.36-1: Het blokschema van de op-amp tester.

Met andere woorden, bouwt men rond de te testen operationele versterker een inverterend versterkertje, dan zal een goed IC het ingangssignaal keurig inverteren en een defect exemplaar in ieder geval iets anders op de uitgang produceren dan het geïnverteerde ingangssignaal. Dit idee is

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/12.3
Hoofdstuk 3/12.8

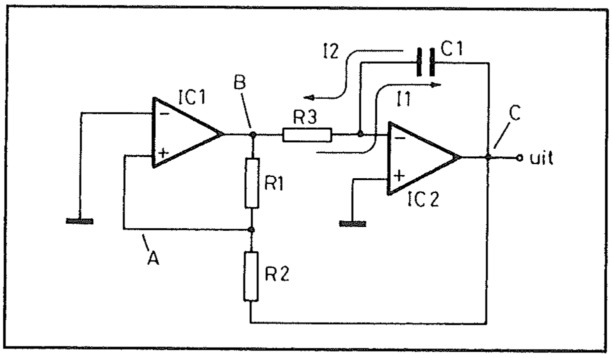


7.36 Tester voor operationele versterkers

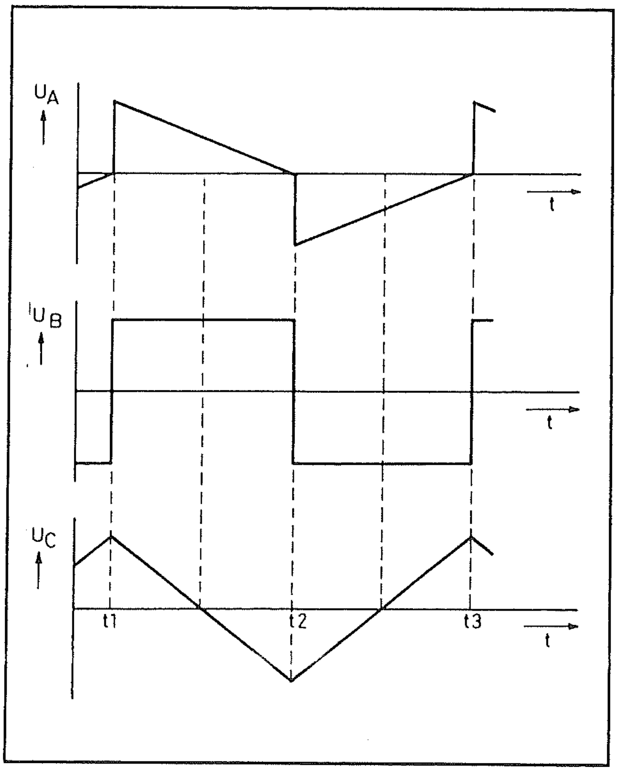
de basis van de hier beschreven op-amp tester en is blokschematisch geschetst in figuur 4/7.36-1.
De schakeling bestaat uit een driehoekspanningsgenerator en een sommeerversterker. De generator levert de ingangsspanning voor de te testen operationele versterker. De verschilversterker vergelijkt de ingangs- met de uitgangsspanning. Werkt het IC naar behoren, dan zal de verschilversterker geen uitgangssignaal afgeven. De som van de ingangsspanning en de uitgangsspanning (gelijk aan de geïnverteerde ingangsspanning) is immers precies gelijk aan nul! Doet de opamp vreemd, dan zal er aan de uitgang van de verschilversterker een verschilsignaal ontstaan en met dit signaal kan men een rode LED aansturen.
Door de versterkingsfactor van de verschilversterker op te schroeven kan men niet alleen grove fouten (bijvoorbeeld een op-amp die intern kortgesloten is naar een van de voedingsspanningen), maar ook exemplaren met een te grote offset opsporen. De uitgang zal dan wat vorm betreft wel precies het inverse zijn van het ingangssignaal, maar er zal op de uitgang ook nog eens een vrij grote offsetspanning aanwezig zijn, die door de verschilversterker wordt versterkt en de LED doet branden.

De driehoekspanningsgenerator

De driehoekspanningsgenerator is samengesteld rond twee operationele versterkers. Het schema is getekend in figuur 4/7.36-2. In wezen bestaat de schakeling uit een comparator IC1, die een deel van de uitgangsspanning vergelijkt met massa en een integrator IC2, die de condensator C1 met een constante stroom laadt of ontlaadt en voor een lineair stijgende of dalende spanning op de uitgang zorgt. De schakeling wordt ontleed aan de hand van de grafieken van figuur 4/7.36-3.



Figuur 4/7.36-2: Het schema van de driehoekspanningsgenerator.



Figuur 4/7.36-3: De golfvormen behorende bij de schakeling van figuur 4/7.36-2.

Stel dat op een bepaald moment de uitgangsspanning U_C van de schakeling maximaal positief is op tijdstip t1. Deze grote uitgangsspanning wordt aangebo-

7.36 Tester voor operationele versterkers

den aan spanningsdeler R1-R2. Nu kan men niet zonder meer de spanning op het knooppunt van beide weerstanden bepalen, want men weet nog niet op welke spanning de uitgang van IC1 zich bevindt. Toch is deze spanning niet moeilijk te beredeneren. IC1 werkt als comparator. De spanning op de niet-inverterende ingang wordt vergeleken met de spanning op de inverterende ingang en deze laatste is nul. Zelfs als de spanning op de niet-inverterende ingang maar een paar mV positief is, zal de uitgang van de comparator vastlopen tegen de positieve voedingsspanning. Nu wordt er via R2 een positieve spanning aangeboden en de kans dat de niet-inverterende ingang van IC1 positief is, is dan ook vrij groot. De uitgang van de comparator staat dan op +Ub. Spanningsdeler R1-R2 ligt dan aan de bovenzijde aan +Ub en aan de onderzijde aan een onbekende, maar wel positieve spanning. Men kan dus stellen dat de geponeerde veronderstelling klopte, want het systeem is in evenwicht. De positieve uitgangsspanning van de comparator stuurt een stroom I1 door R3. Nu kan deze stroom alleen via de condensator C1 afvloeien want IC2 heeft een oneindig hoge ingangsimpedantie. Maar er is meer! De niet-inverterende ingang van IC2 ligt aan massa, men kan aannemen dat ook de inverterende ingang dit potentiaal zal verkiezen. Over R3 valt een constante spanning, namelijk +Ub en het rechtstreekse gevolg is dat de stroom I1 constant is! Condensator C1 wordt door een constante stroom opgeladen en zoals men weet betekent dit dat de spanning over het onderdeel lineair stijgt of daalt. De linker plaat van de condensator wordt echter op nul volt gehouden door de werking van de operationele versterker (spanningsverschil tussen beide ingangen nul). Het kan dus niet anders of de uitgangsspanning van IC2 gaat lineair dalen. De stroom I1 wekt immers over C1 een spanning op en de stroomrichting bepaalt dat de linker aansluiting van het onderdeel positief is ten opzichte van de rechter aansluiting.

Het lineaire dalen van de uitgangsspanning heeft echter gevolgen voor de spanning op de niet-inverterende ingang van IC1. Omdat de spanning op de onderste aansluiting van R2 daalt, zal de spanning op punt A ook dalen. Op een bepaald moment t2, afhankelijk van de verhouding tussen de weerstanden R1 en R2, wordt de spanning op punt A gelijk aan nul. De comparator klapt om, de uitgang gaat naar de negatieve voedingsspanning -Ub. Hetgeen weer tot gevolg heeft dat ook de spanning op punt A plotseling negatief wordt. De bovenste aansluiting van R1 wordt immers sterk negatief en de uitgang van de schakeling (dus de spanning op R2) is eveneens negatief. Het kan niet anders of het knooppunt wordt negatief. De stroomrichting van de stroom door R3 verandert.

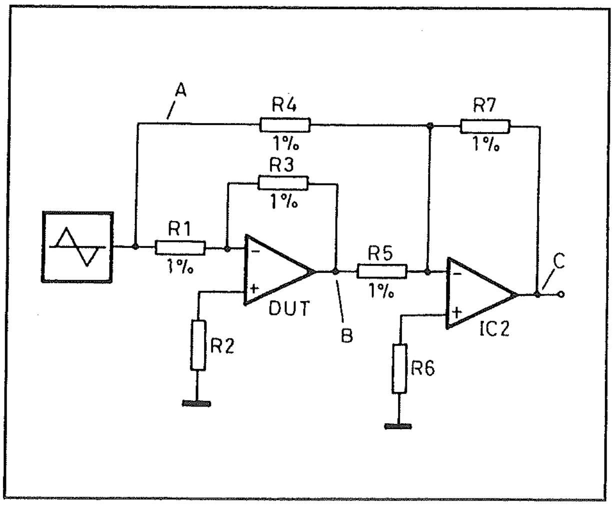
De stroom I2, die nu door dit onderdeel en door condensator C1 vloeit, gaat de spanning op de uitgang van de schakeling laten stijgen. Deze stijging wordt teruggekoppeld naar R2. Op een bepaald moment t3 zal de spanning op het knooppunt van beide weerstanden weer gelijk worden aan nul. De comparator klapt om en men is terug bij het startpunt t1 van de werking.

Op de uitgang van de schakeling verschijnt dus een symmetrische driehoeksspanning, waarvan de waarde wordt bepaald door de grootte van de voedingsspanningen en de verhouding tussen R1 en R2. De frequentie van dit signaal hangt af van de stromen I1 en I2, dus van R3 en van de waarde van de condensator.

7.36 Tester voor operationele versterkers

De verschilversterker

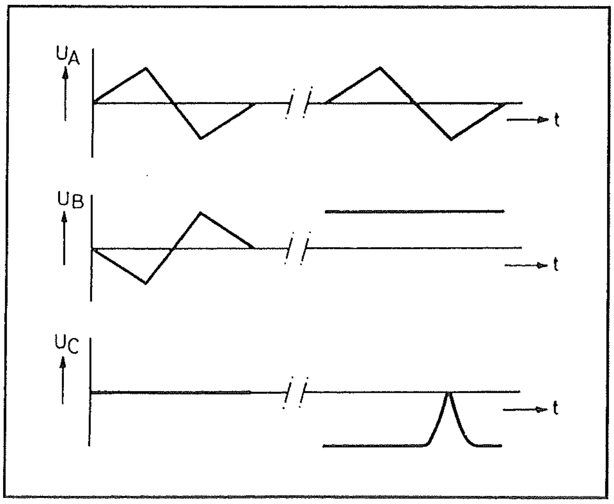
De verschilversterker is getekend in figuur 4/7.36-4. De werking van dit gedeelte van de schakeling is eenvoudig. De uitgang van de driehoeksspanningsgenerator (A) wordt door middel van R1 aangeboden aan de te testen operationele versterker (DUT van het Engelse "Device Under Test"). De schakeling rond dit IC is een inverterende x1-versterker. R1 en R3 zijn even groot. De uitgang van het DUT is dus omgekeerd aan de ingangsspanning. Deze spanning op punt B wordt vergeleken met de spanning op punt A. Zijn beide spanningen absoluut gezien even groot, maar ten opzichte van elkaar geïnverteerd, dan zullen er door de twee even grote weerstanden R4 en R5 even grote, maar tegengestelde stromen vloeien.



Figuur 4/7.36-4: Het schema van de verschilversterker.

Door weerstand R7 vloeit dan geen stroom, de uitgang van IC2 blijft op nul. Wijkt de spanning op punt B af van het ideale verloop, dan zal de stroomgelijkheid worden verbroken. Er vloeit een verschilstroom door R7. Deze stroom wekt over deze weerstand een spanning op en daar de linker aansluiting op massapotentiaal staat (vanwege de werking van de op-amp) zal de rechter aansluiting een bepaalde onbekende, maar in ieder geval van nul afwijkende spanning voeren. Dit uitgangssignaal wordt gedetecteerd en stuurt een LED.

Figuur 4/7.36-5 geeft als voorbeeld de ideale situatie bij goed werkende DUT (links) en een situatie waarbij deze op-amp intern kortgesloten is naar de positieve voedingsspanning (rechts). De uitgang van het DUT levert dan een constante hoge spanning af, het gevolg is dat er op de uitgang van de verschilversterker een negatieve restspanning ontstaat, die alleen even naar nul gaat op het moment dat de spanning op punt A in absolute zin gelijk wordt aan de foutieve uitgangsspanning van de te testen schakeling.



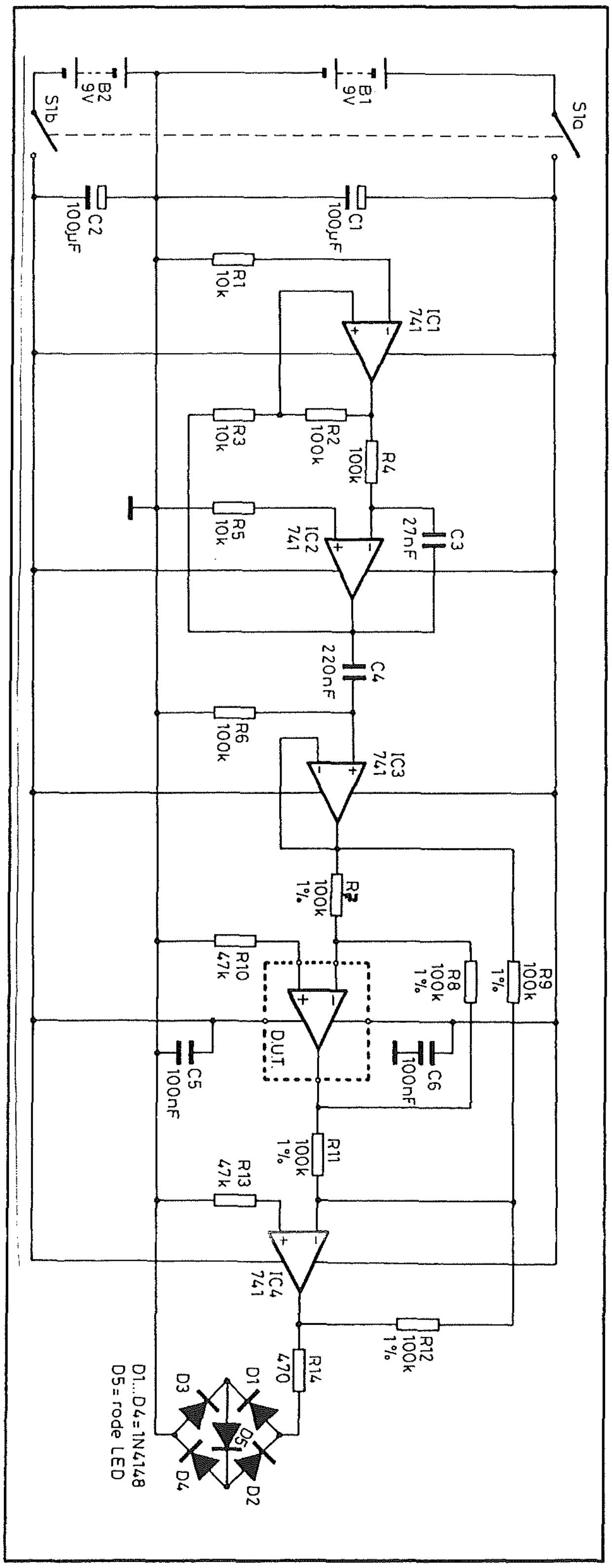
Figuur 4/7.36-5: De werking van de verschilversterker: links met een goede DUT, rechts met een slechte DUT.

Het volledig schema

Het volledig schema van de op-amp tester is getekend in figuur 4/7.36-6. De schakeling rond IC1 en IC2 is de driehoekspanningsgenerator. Omdat de spanningssymmetrie van de uitgangsspanning van deze

7.36 Tester voor operationele versterkers

schakeling echter in hoge mate afhangt van de gelijkheid van de twee voedingsspanningen en de tester uit twee 9 V batterijtjes wordt gevoed kan men er niet zeker van zijn dat de uitgangsspanning steeds symmetrisch ten opzichte van nul zal verlopen. Vandaar een blokkeertrap C4/R6, die de eventueel aanwezige gelijkspanningscomponent spert. De condensator laat immers alleen signaal door en heeft een oneindig hoge impedantie voor gelijkspanning. De condensator C4 introduceert echter een ontoelaatbare impedantie in de uitgangskring van de generator. De buffer rond IC3 heft dit nadeel op en levert een mooi symmetrische en laagimpedante driehoeksspanning aan de rest van de schakeling.
Deze rest volgt de reeds besproken principeschema's op de voet. Zowel de testschakeling als de verschilversterker worden uitgerust met 1 % metaalfilm weerstanden op de plaatsen waar dit echt noodzakelijk is, met als groot voordeel dat men niets behoeft af te regelen.
De verschilversterker kan zowel een positief als een negatief signaal leveren, afhankelijk van het soort defect in de te testen op-amp. Nu straalt een LED slechts licht uit als er stroom in één bepaalde richting door de diode loopt (sterker nog, in de andere richting loopt geen stroom!) en vandaar dat de LED is opgenomen in een brugschakeling, die er voor zorgt dat de stroom steeds in de goede richting door de lichtgevende diode vloeit. Als de uitgangsspanning van de verschilversterker positief is, dan loopt de stroom door weerstand R14 naar massa via de dioden D1, D5 en D4. Is de uitgangsspanning echter negatief, dan geleiden de dioden D2, D5 en D3.
De versterkingsfactor van de verschilversterker is gelijk aan tien.



Figuur 4/7.36-6: Het volledig schema van de tester voor op-amp's.

7.36 Tester voor operationele versterkers

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %

R1,R3,R5	10 kΩ
R2,R4,R6	100 kΩ
R10,R13	47 kΩ
R14	47 Ω

WEERSTANDEN, 1 %, METAALFILM

R7,R8,R9,R11,R12	100 kΩ

CONDENSATOREN

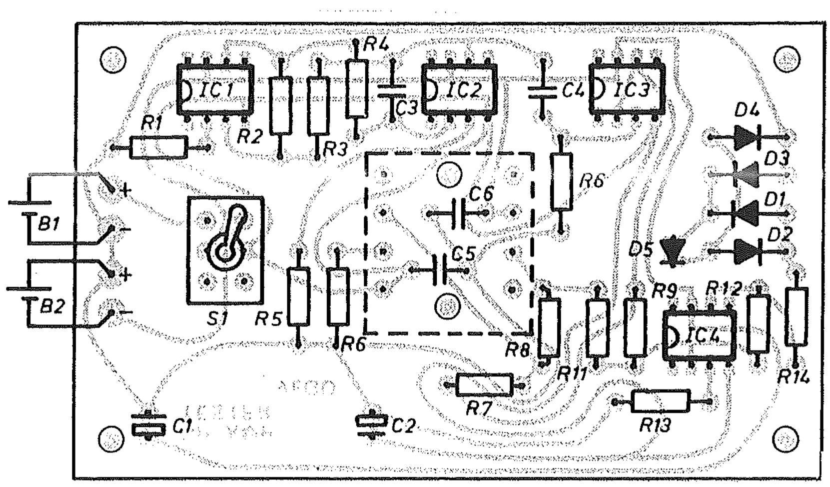
C1,C2	100 μF	16 V printelco
C3	27 nF	MKH
C4	220 F	MKH
C5,C6	100 nF	MKH

HALFGELEIDERS

D1,D2,D3,D4	1N4148
D5	LED, rood, 5 mm
IC1,IC2,IC3,IC4	741 op-amp, mini-DIL

DIVERSEN

1 x twee-polige AAN/UIT-schakelaar
5 x 8-pens IC-voetje
4 x printsoldeerlipje
2 x 9 V batterij clip
2 x 9 V batterij



Figuur 4/7.36-8: De componentenopstelling van de print.

7.36 Tester voor operationele versterkers

De bouw van de schakeling

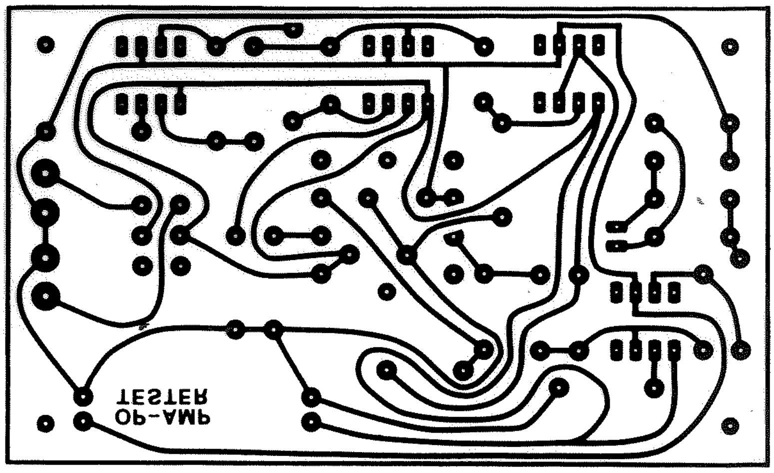
De schakeling kan worden ondergebracht in een klein kastje, bijvoorbeeld van Teko. Figuur 4/7.36-7 op de transparante print-pagina geeft het ontwerp van de print en figuur 4/7.36-8 wijst de onderdelen hun plaats aan. Naast de print voor de schakeling bevat de transparante pagina ook nog een klein test-printje, dat met behulp van 10 mm lange afstandsbusjes boven de gestippeld aangegeven plaats op de hoofdprint kan worden gemonteerd en waardoor het mogelijk wordt het te testen IC zonder moeilijke bedradingstoestanden rechtstreeks in het voetje op dit printje te duwen.

Het gebruik van de op-amp tester

Zet de verdachte op-amp in het voetje. Schakel het apparaat nadien in. Brandt de LED, dan is de op-amp defect. Men kan de conditie van de batterijen testen door het apparaat even in te schakelen zonder IC in het testvoetje. Brandt de LED, dan weet men zeker dat het apparaat nog werkingsbereid is. Blijft de LED gedoofd of brandt hij zwak, dan moet men de batterijen vernieuwen.

7.36 Tester voor operationele versterkers

7.36 Tester voor operationele versterkers



Figuur 4/7.36-7: De print voor de schakeling.

4/7.37

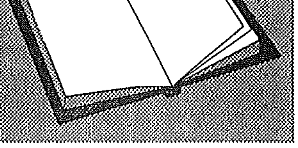
Kleine weerstanden meten met de digitale universeelmeter

Inleiding
Toegegeven, vaak komt het in de praktijk niet voor! Maar iedere elektronicus, professional of hobbyist, wordt af en toe geconfronteerd met de noodzaak tot het nauwkeurig meten van kleine weerstanden. Weerstanden onder de 1 Ω worden immers in allerlei schakelingen, zoals eindversterkers en gestabiliseerde voedingen, gebruikt voor het begrenzen van de stroom die door de eindtrappen vloeit. Meestal moeten deze weerstanden tamelijk nauwkeurig gelijk zijn aan de in het schema opgegeven waarde. Helaas zijn er weinig detaillisten die een weerstand van stel 0,13 Ω zonder meer uit één van hun ontelbare laatjes kunnen trekken.

Zélf wikkelen!
Nu kan men opmerken dat dit toch geen enkel probleem is. Zulke kleine weerstanden kan men namelijk zelf vrij gemakkelijk maken uit de bekende soldeerbare weerstandsdraad van Block, die een bekende weerstand per strekkende meter heeft. En als het berekenen van de noodzakelijke lengte te onnauwkeurig zou zijn, dan kan men toch altijd nog de digitale universeelmeter inschakelen die tegenwoordig iedere hobby werktafel siert. Maar daar zit nu net het probleem! Die meters zijn op zich uiterst betrouwbare meetinstrumenten, maar zij hebben zoals alles en iedereen hun beperkingen. En het nauwkeurig meten van zeer kleine weerstanden gaat nu net iets over deze grenzen heen.

Tweedraads-metingen
Wie een weerstand meet met een digitale universeelmeter meet in feite een spanning. De spanningsval namelijk, die een zeer nauwkeurige referentiestroom over de onbekende weerstand opwekt. In de meter zit een zeer goede stroombron, die een omschakelbare stroom van bijvoorbeeld 100 mA, 1 mA en 100 μA genereert. Deze stroom wordt door de weerstand gestuurd en uit de wet van Ohm volgt dat de spanning die over de weerstand valt gelijk is aan het produkt van weerstand en stroom. Stel dat men een weerstand van 1,23 kΩ wil meten en dat de meetstroom voor dat meetgebied gelijk is aan 1 mA. Over de weerstand valt dan een spanning van:

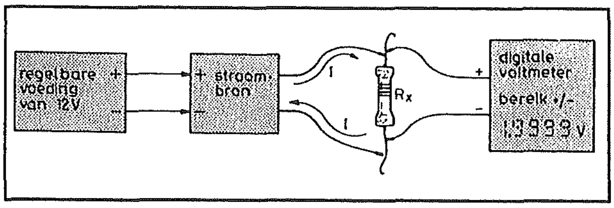
LEES OOK:
Hoofdstuk 3/8.1.5
Hoofdstuk 3/8.10.7
Hoofdstuk 4/7.18



7.37 Kleine weerstanden meten met de digitale universeelmeter

$U_R = R * I$
$U_R = 1{,}23\ k\Omega * 1\ mA$
$U_R = 1{,}23\ V$
Hoewel er een spanning wordt gemeten geeft de uitlezing, dank zij de macht-van-tien-waarde van de stroom, precies de waarde van de weerstand aan. Een uitstekend principe als men zich beperkt tot weerstanden die groter zijn dan 10 Ω. Onder deze waarde gaat de meetfout echter aanzienlijk toenemen en wordt zelfs onacceptabel groot als er onder de 1 Ω moet worden gemeten. De te meten weerstand wordt immers door middel van meetsnoertjes met de digitale meter verbonden en de op deze gebieden aanzienlijke meetstroom wekt ook over de inwendige weerstand van deze snoertjes een spanningsval op. Uit de gemeten spanningsval kan de meter dus niet de waarde van de te meten weerstand afleiden! Daarnaast loopt de stroom in de meeste gevallen ook nog eens door een aantal schakelaarcontacten in de meter die na veelvuldig gebruik van de schakelaars een allesbehalve te verwaarlozen overgangsweerstand vertonen. Ook alweer enige tientallen mΩ, die de onschuldige te meten weerstand extra in zijn schoenen krijgt geschoven!

Vierdraads-techniek
Kleine weerstanden kan men alleen met de in figuur 4/7.37-1 geschetste zogenoemde vierdraads-techniek nauwkeurig meten. Bij deze techniek zijn de schakelingen die de meetstroom aan de te meten weerstand toevoeren en de schakelingen die de spanningsval over de meetweerstand meten volledig gescheiden. Er zijn dan ook vier verbindingssnoertjes noodzakelijk: twee voor de stroom en twee voor de spanning, vandaar de naam van deze meettechniek.

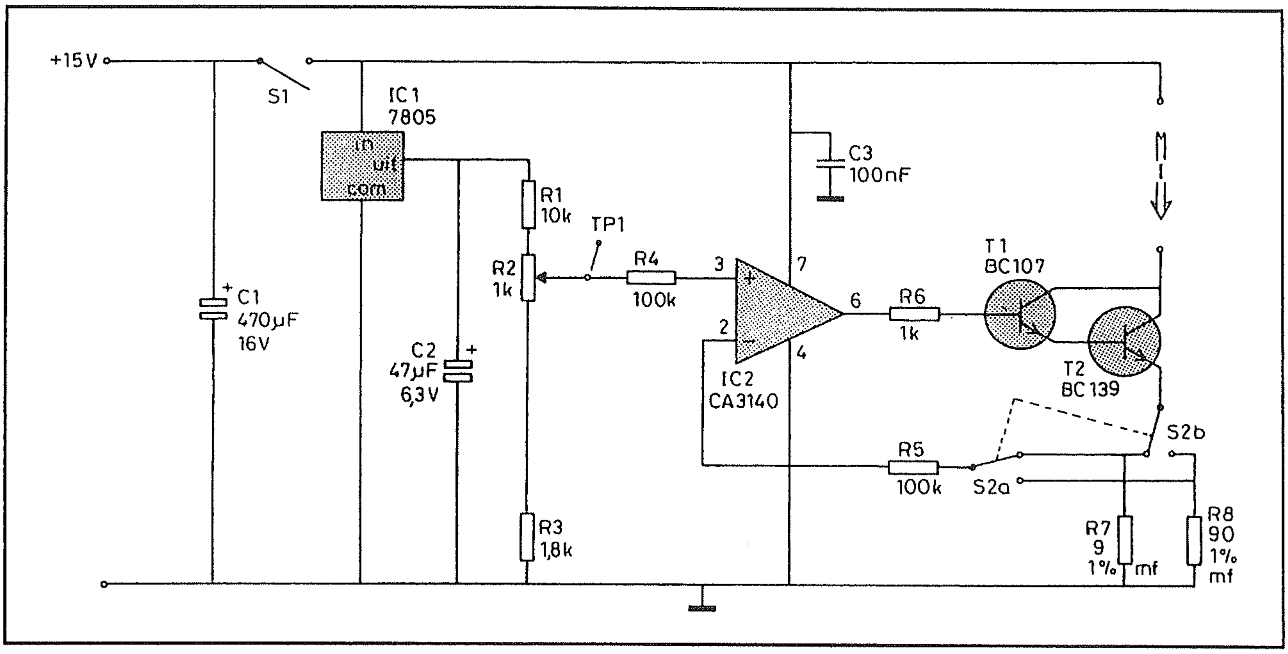


Figuur 4/7.37-1: Het principe van de vierdraads-techniek.

Het zal nu wel duidelijk zijn dat de genoemde meetfouten niet kunnen ontstaan. Door de aansluitsnoeren van de digitale universeelmeter zo dicht mogelijk op het eigenlijke weerstandlichaam van de onbekende weerstand aan te sluiten, vervallen alle mogelijke paracitaire weerstanden die de meting kunnen vervalsen. Het komt er nu alleen nog op aan een zeer nauwkeurige stroombron uit de kast te toveren, die een gelijkstroom opwekt die omschakelbaar is tussen bijvoorbeeld 1,000 A en 100,0 mA. Helaas groeien dit soort schakelingen niet plukklaar in de bomen zodat er niets anders op zit dan zélf even aan de slag te gaan.

De stroombron
Het zelf bouwen van een zeer precieze en stabiele stroombron is dank zij de zegeningen van de moderne techniek eigenlijk een fluitje van een cent. Kijk maar naar figuur 4/7.37-2, waar het volledige schema van een stroombron met omschakelbare uitgangsstroom is getekend. In principe komt de werking van deze schakeling er op neer dat de te stabiliseren stroom door een transistor en een zeer nauwkeurige weerstand wordt gestuurd en de spanningsval over deze weerstand in een comparator wordt vergeleken met een zeer nauwkeurige referentiespanning. Als de spanningsval groter of kleiner wordt dan de referentie komt de comparator in actie.

7.37 Kleine weerstanden meten met de digitale universeelmeter



Figuur 4/7.37-2: Het praktisch schema van de omschakelbare stroombron.

Deze schakeling regelt de geleiding van de serietransistor, zodat er meer of minder weerstand in de stroomketen wordt opgenomen. De waarde van de stroom wordt automatisch bijgeregeld totdat de spanningsval weer precies gelijk is aan de referentiespanning.
Het zou ideaal zijn de stroombron te ontwerpen voor stromen van 1,000 A en 100,0 mA. Twee weerstandsgebieden van 1,999 Ω en 19,99 Ω zouden dan precies 1,999 V opwekken, een meetgebied dat standaard op iedere digitale universeelmeter aanwezig is. Nu is dat echter niet zo verstandig. Op de eerste plaats kan een zeer constante stroom van 1 A niet met eenvoudige middelen worden gegenereerd. Op de tweede plaats ontstaan grote dissipatieproblemen. De 1 A stroom wekt in een weerstand van 1,5 Ω natuurlijk 1,5 W op, waardoor de te meten weerstand veel te warm wordt. Vandaar dat in de praktische schakeling wordt uitgegaan van meetstromen van 100,0 mA en 10,00 mA. De meetspanning is dan slechts 199,9 mV maximaal voor de gestelde meetgebieden. Een spanning die toch nog nauwkeurig te meten is met de meeste digitale universeelmeters.

Bespreking van het schema
De zeer constante referentiespanning wordt afgeleid uit een 7805 spanningsregulator IC1. De 5 V uitgangsspanning van dit onderdeel wordt aangeboden aan een uit R1, R2 en R3 samengestelde spanningsdeler. Op de loper van de tienslagen instelpotentiometer R2 staat een spanning die instelbaar is tussen 0,7 V en 1,1 V. Het is dus zonder meer mogelijk de referentiespanning op precies 0,900 V af te regelen. Als sensorweerstanden voor de twee gebieden worden 0,1 % weerstanden ingeschakeld van 9 Ω en 90 Ω. Dit type weerstand wordt speciaal gefabriceerd voor het samenstellen van de ingangsdelers van digitale meters. Zou men deze 0,1 % uitvoeringen (fabrikant Dale) niet

7.37 Kleine weerstanden meten met de digitale universeelmeter

kunnen bemachtigen, dan kan men zonder al te grote consequenties overschakelen op exemplaren van 1 % en 1 W. De twee spanningen worden via serieweerstanden R4 en R5 aangeboden aan de ingangen van operationele versterker IC2. Ieder spanningsverschil wordt versterkt en via R6 wordt een Darlington trap min of meer in geleiding gestuurd. Het teruggekoppelde systeem kan niet anders dan zichzelf zo instellen dat de spanningsval over R7 of R8 precies gelijk is aan 0,900 V, de waarde van de referentiespanning. Let op de manier waarop de twee sensorweerstanden worden geselecteerd! Eén segment van de dubbelpolige omschakelaar S2 schakelt één van de weerstanden in de stroomkring, het tweede segment voert de spanningsval af naar de operationele versterker. Inderdaad, ook een soort van vierdraadstechniek die verhindert dat de spanningsval over de contacten van S2b in de spanningsvergelijking wordt betrokken.

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %

R1	10 kΩ
R3	1,8 kΩ
R4,R5	100 Ω
R6	1 kΩ

WEERSTANDEN, 1 W, 0,1 %

R7	9 Ω
R8	90 Ω

INSTELPOTENTIOMETER, TIENSLAGEN

R2	1 kΩ

CONDENSATOREN

C1	470 µF	16 V printelco
C2	47 µF	16 V printelco
C3	100 nF	MKH

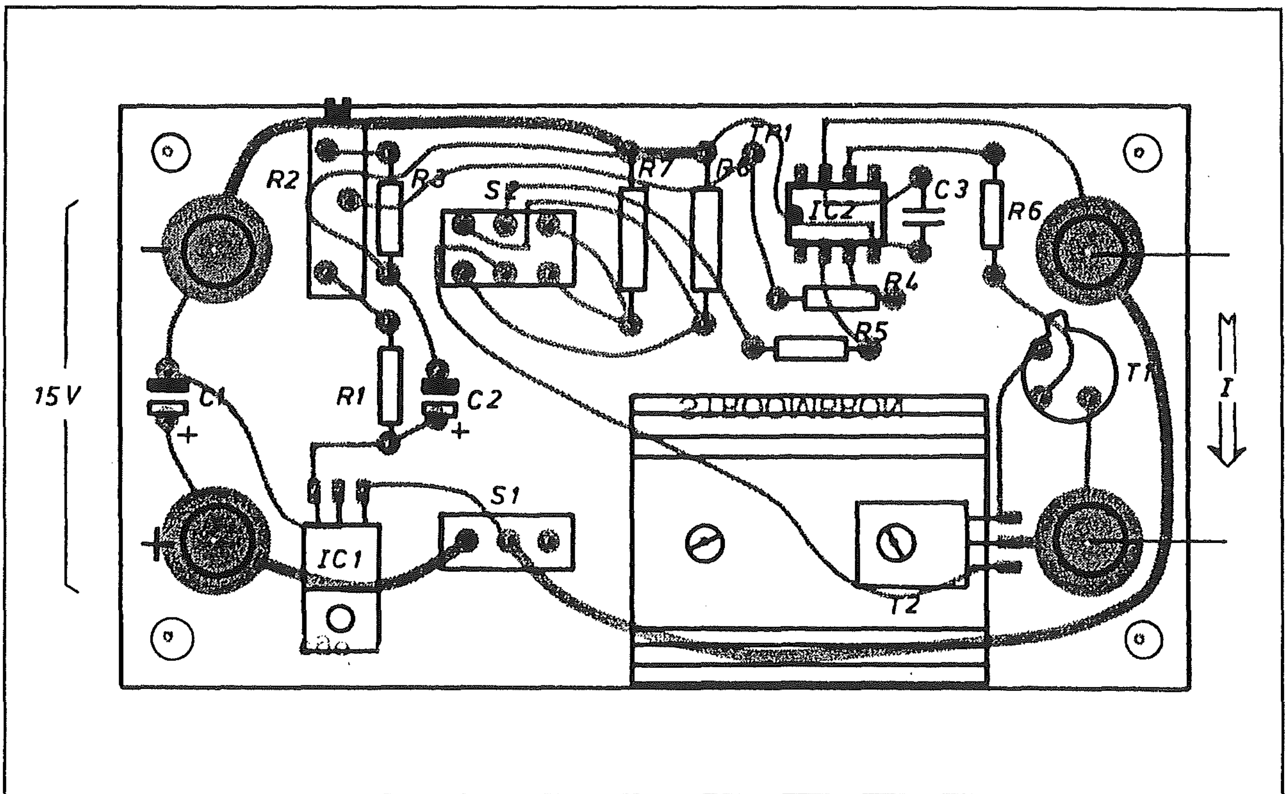
HALFGELEIDERS

T1	BC107
T2	BD139
IC1	7805C
IC2	CA3140, mini-DIL

DIVERSEN

1 x	tuimelschakelaar, 1 x OM
1 x	tuimelschakelaar, 2 x OM
1 x	koelprofiel KL-129, 37,5 mm
1 x	IC-voetje, 8 pennen
4 x	4 mm stekerbus
1 x	printsoldeerlipje

7.37 Kleine weerstanden meten met de digitale universeelmeter



Figuur 4/7.37-4: De componentenopstelling.

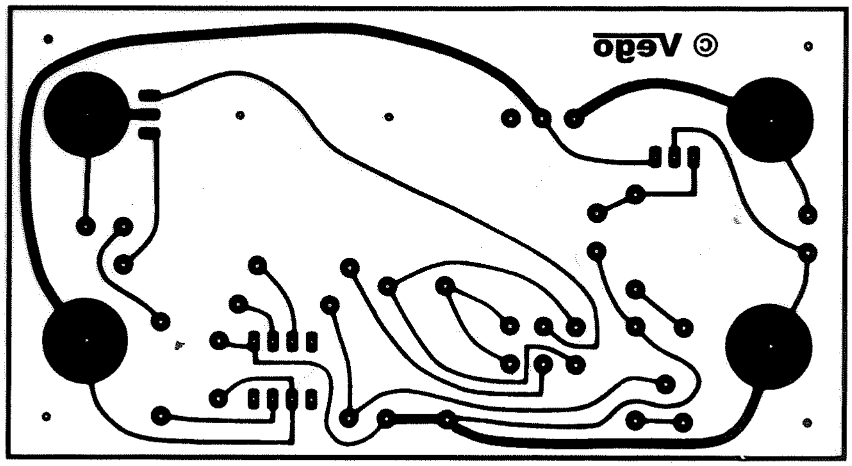
Bouw van de schakeling
Het printje voor de stroombron, ontworpen in de "alles op de print"-stijl, is getekend in figuur 4/7.37-3 op de transparante printpagina. De onderdelenplattegrond staat in figuur 4/7.37-4. Om de nabouw zo eenvoudig mogelijk te maken en de bedrading tot het absolute minimum te beperken zijn alle onderdelen, inclusief schakelaars en stekerbussen, op de print ondergebracht. Op alle lipjes van de tuimelschakelaars worden eerst draadjes gesoldeerd, nadien worden deze onderdelen als ware het echte dure printschakelaars op de print gesoldeerd. Op TP-1 wordt een printsoldeerlipje gesoldeerd, dit punt wordt gebruikt bij het afregelen van de schakeling.
De BD139 wordt op een koelplaatje KL-129 met een lengte van 37,5 mm geschroefd.

Afregelen
Sluit de schakeling aan op een regelbare voeding, die op 15,0 V wordt ingesteld. Laat het geheel vijf minuten opwarmen met kortgesloten stroomuitgangen en meet met een digitale universeelmeter de spanning tussen TP-1 en massa. Regel deze spanning met de loper van instelpotentiometer R2 af op precies 0,900 V. Schakel de universeelmeter op gelijkstroom en zet het apparaat tussen de uitgangsbussen van de stroombron. Afhankelijk van de stand van omschakelaar S2 moet de meter precies 100,0 mA of 10,00 mA aanwijzen. Bij gebruik van 1 % weerstanden voor R7 en R8 zijn kleine afwijkingen mogelijk. Als deze beide in dezelfde richting zijn kan men eventueel de loper van R2 nog even verdraaien tot de beide stromen zo precies mogelijk de ideale waarden benaderen.

7.37 Kleine weerstanden meten met de digitale universeelmeter

Opmerking
Voedt de stroombron bij praktijkmetingen steeds met dezelfde voedingsspanning (15,0 V) als waarmee het printje werd afgeregeld!

7.37 Kleine weerstanden meten met de digitale universeelmeter



Figuur 4/7.37-3: De print voor de schakeling.

4/7.38

dB's meten met de digitale universeelmeter

Inleiding

Hoewel het meten van dB-waarden in de laagfrequent elektronica een zeer belangrijke plaats inneemt, zijn er relatief weinig goede meetinstrumenten voor het meten van deze grootheid. De meeste analoge meters hebben een zeer kleine en bovendien niet-lineaire dB-schaal. Digitale meters met een dB-meetfaciliteit waren tot voor kort onbekend. De laatste tien jaren zijn er digitale universeelmeters met een dB-meetgebied op de markt gekomen, dank zij het integreren van rekenende microprocessoren, maar deze meters zijn toch nog steeds vrij prijzig voor de gemiddelde elektronica doe-het-zelver.

Zelfbouw loont

Gelukkig kan men met wat analoge componenten een schakeling in elkaar solderen die voor niet al te veel geld decibellen rechtstreeks op een digitale meter uitleest. De in dit hoofdstuk beschreven "four decades logarithmic converter" zet een sinusvormige wisselspanning om in een gelijkspanning, die gelijk is in grootte aan de dB-waarde van de wisselspanning. En dit over vier decaden, dus van bijvoorbeeld -20 dB tot +20 dB.

Voorbeeldjes:

- een wisselspanning van 0,775 V_{eff} wordt omgezet in een gelijkspanning van 0 V;
- een wisselspanning van 7,75 V_{eff} wekt een gelijkspanning op van 2,00 V:
- een wisselspanning van 77,5 mV_{eff} geeft een uitgang van -2,00 V.

De omzettingsfactor is dus gelijk aan 100 mV per dB.

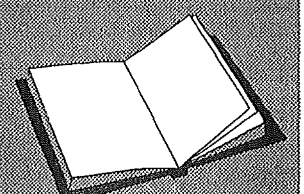
Het apparaatje is zo opgebouwd, dat men er in de alledaagse praktijk van werken met LF-schakelingen veel plezier aan kan beleven.

Bedieningsorganen

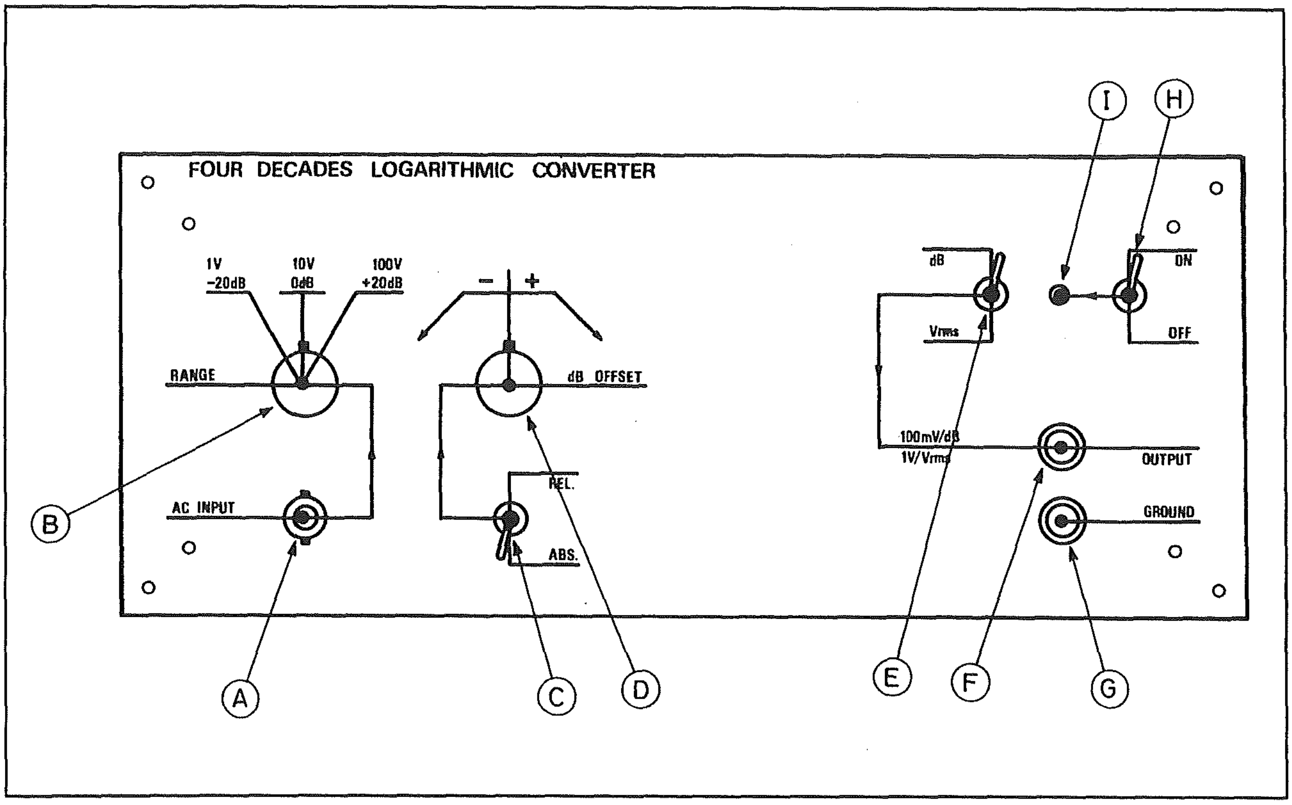
Figuur 4/7.38-1 geeft een schets van de bedieningsorganen van het apparaat. De te meten wisselspanning wordt door middel van de BNC-connector (A) in het apparaat geleid.

Afhankelijk van de grootte van de spanning kan men met de gevoeligheidsschakelaar (B) een x10-versterker, een :10-verzwakker of gewoon een buffer inschakelen. De middenstand is de neutrale stand. Het meetgebied gaat dan van -20 dB tot en met +20 dB.

LEES OOK:
Hoofdstuk 6/6.12



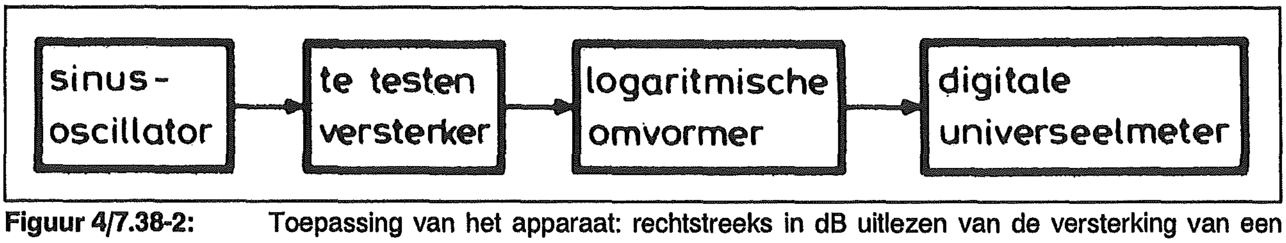
7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter



Figuur 4/7.38-1: De bedieningselementen van de schakeling.

Als men het apparaat gebruikt voor het meten van de effectieve waarde van de aangeboden spanning (want dat kan ook), dan meet het apparaat in deze stand van 0 V_{eff} tot 10 V_{eff}. Omschakelen naar de stand "1 V/-20 dB" schakelt een x10 versterker in, zodat het meetgebied respectievelijk 1 V_{eff} of -40 dB tot 0 dB wordt. Als men nu dB meet, dan moet van de op de digitale meter afgelezen waarde 20 dB worden afgetrokken. De laatste stand "100 V/+20 dB" schakelt een verzwakker in, waardoor bij de afgelezen waarde 20 dB moet worden opgeteld. Het totale meetgebied loopt dus van -40 dB tot en met +40 dB of, uitgedrukt in effectieve waarde, van 7,75 mV tot en met 77,5 V. Vandaar de naam "vier-decade logaritmische omzetter". Decibel-metingen zijn meestal geen absolute, maar relatieve metingen. Het feit dat een versterker een uitgangsniveau van 10 dB aflevert is niet zo interessant. Wél belangrijk is hoeveel dB een versterker meer of minder versterkt bij 20 kHz ten opzichte van 1 kHz. In dat geval meet men eerst de absolute dB-versterking bij 1 kHz, nadien de absolute versterking bij 20 kHz en trekt tot slot beide waarden van elkaar af. Door middel van de omschakelaar (C) en de potentiometer (D) kan men de relatieve versterking in één klap op de digitale meter aflezen. Men schakelt (C) op "rel" (relatief) en door middel van de potentiometer kan men de uitlezing op 0 dB afregelen. Alle nieuwe decibel-metingen worden nu uitgevoerd ten opzichte van deze 0 dB referentie, uiteraard voor zover de ingangsschakeling van het apparaat niet wordt overstuurd.

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter



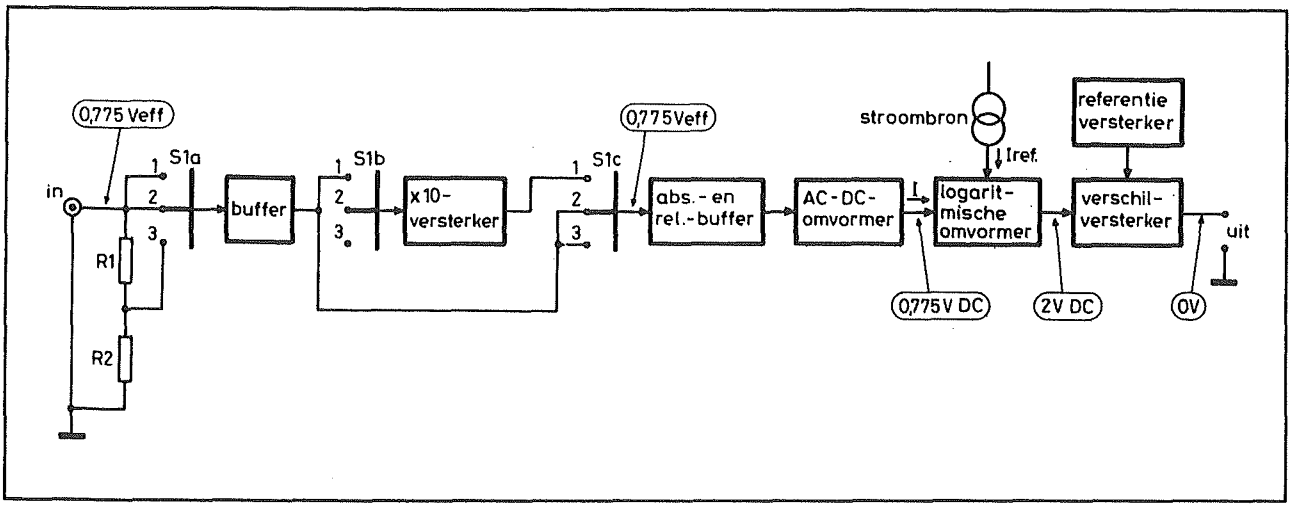
Figuur 4/7.38-2: Toepassing van het apparaat: rechtstreeks in dB uitlezen van de versterking van een apparaat op een digitale universeelmeter.

Met omschakelaar (E) kan men de functie van het apparaat instellen op het meten van effectieve waarden of dB waarden. In het ene geval is de omzettingsfactor 1 V gelijkspanning per effectieve V, in het andere geval 100 mV gelijkspanning per dB. Deze gelijkspanning wordt op de uitgang (F) afgetapt ten opzichte van de massa (G).
Schakelaar (H) is de aan/uit-schakelaar van het apparaat, (I) een indicatie-LED.

Toepassingen
van de logaritmische omvormer
Het ontwerpen van een schakeling als deze is niet alleen een leuke uitdaging voor een ontwerper, maar levert een zeer bruikbaar apparaatje op. In de eerste plaats natuurlijk de genoemde toepassing van het rechtstreeks op een digitale meter aflezen van dB-waarden. Deze toepassing is geschetst in figuur 4/7.38-2. Een sinusoscillator stuurt diverse frequenties, met dezelfde amplitude, naar de te testen versterker. De uitgang van de versterker voedt de logaritmische omvormer en zijn uitgangsspanning wordt gemeten op een op gelijkspanning geschakelde digitale universeelmeter. Het enige probleem hierbij is dat de komma van de uitlezing voor enige verwarring kan zorgen. Als de op het 2 V meetgebied geschakelde meter 1,25 V aanduidt, wil dat zeggen dat de uitgangsspanning van de versterker 12,5 dB groot is ten opzichte van de referentie 0 dB = 0,775 V. Een tweede toepassing is het omvormen van een sweepfunctiegenerator tot een karakteristieken schrijvend geheel. De opstelling van figuur 4/7.38-2 blijft intact, alleen wordt de sinusgenerator vervangen door een sweepende functiegenerator en de digitale universeelmeter door een X/Y-recorder.
Als de generator een driedecaden sweep kan genereren, dan men de totale frequentieband van 20 Hz tot 20 kHz op een velletje papier krijgen, met dB-schaal en logaritmische frequentieverdeling (vooropgesteld dat de sweepgenerator een passend Y-uitgangssignaal geeft). Helaas kan men hetzelfde grapje niet toepassen met een scoop, omdat er in de logaritmische omvormer een gelijkrichter zit en een dergelijke schakeling een bepaalde traagheid heeft. Deze traagheid is te groot om snelle amplitude-schommelingen, optredend bij sweepen met een scoop, te kunnen volgen.

Blokschema
van de logaritmische omvormer
Het blokschema van het apparaatje is getekend in figuur 4/7.38-3. De ingangsspanning stuurt een uit twee weerstanden gebouwde spanningsdeler. Deze deler is aangesloten op het eerste segment van een drie-standen schakelaar (Sla). In standen 1 en 2 wordt de ingangsspanning rechtstreeks naar een buffer gestuurd, in de derde stand wordt de spanning 10 x verzwakt.

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter



Figuur 4/7.38-3: Het blokschema van de schakeling.

Na de buffer volgt een x10 versterker, die het ingangssignaal in de eerste schakelaarstand versterkt. Na de versterker volgt de laatste sectie van de schakelaar. De combinatie van buffer, versterker, weerstandsdeler en schakelaars geeft de genoemde drie mogelijkheden.

- Stand 1:
  Het ingangssignaal wordt 10 maal versterkt.
- Stand 2:
  Het ingangssignaal verschijnt onverzwakt en onversterkt op het moedercontact van Slc.
- Stand 3:
  De ingang wordt 10 maal verzwakt.

Na deze ingangssignaal behandeling volgt een schakelingetje, waarmee men bij dB-metingen of de absolute dB-waarde van het ingangssignaal kan meten of een willekeurig nulpunt kan instellen (relatieve meting). Vervolgens komt de gelijkrichter aan de beurt, die de sinusvormige wisselspanning omvormt in een gelijkspanning, gelijk aan de effectieve waarde van het ingangssignaal. Dit signaal kan men nu gaan omzetten naar het dB-equivalent.

Dat gebeurt in twee stappen: allereerst door middel van een logaritmische omvormer, die de ingangsstroom I vergelijkt met een referentiestroom I_{ref} en een uitgangsspanning levert die evenredig is aan het logaritme van het quotiënt van beide stromen.

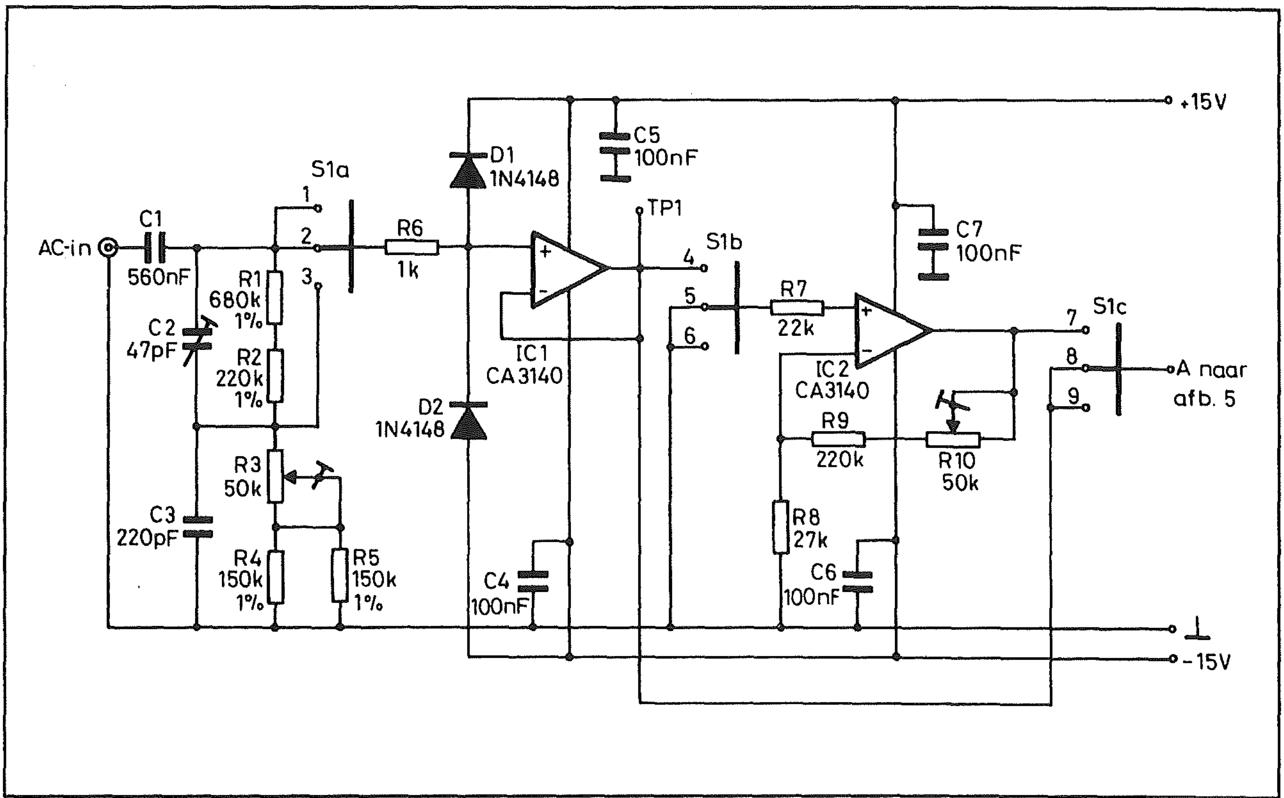
Aan de uitgang verschijnt een gelijkspanning die varieert tussen 0 V en 4 V, bij een ingangsstroom tussen 1 mA en 10 µA en een referentiestroom van 1 mA.

Nu bestaat er al wel een logaritmisch verband tussen de ingangsstroom en de uitgangsspanning, maar er is nog geen dB-representatie van de ingangsspanning. Vandaar een laatste trap, een verschilversterker, die de uitgang van de logaritmische omvormer rekenkundig bewerkt en de uitgangsspanning omzet in de gewenste band tussen -2 V en +2 V.

De ingangstrappen

Het praktisch schema van de ingangstrappen is getekend in figuur 4/7.38-4. De ingangsspanning wordt via een grote condensator (C1) aangeboden aan de uit vijf weerstanden bestaande spanningsdeler.

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter



Figuur 4/7.38-4: Het schema van de ingangsversterker.

De deelfactor is 1/10, de weerstandsverhouding moet dus 1/9 zijn. Met 1 % weerstanden is dit vrij moeilijk te realiseren (de gewenste waarden zijn niet of nauwelijks leverbaar), vandaar is het geheel voorzien van een instelpotmeter R3. R1 en R2 vormen samen 900 kΩ, de combinatie R3, R4 en R5 kan met R3 worden afgeregeld op exact 100 kΩ. De elementen R6, D1 en D2 vormen een simpele, maar afdoende bescherming tegen te hoge ingangsspanningen. Buffer IC1 sluit de spanningsdeler af met een zeer hoge ingangsimpedantie. De x10 versterker rond IC2 is klassiek van opbouw, met R8, R9 en R10 kan men de versterkingsfactor ijken. De voedingsaansluitingen van de op-amp's zijn voorzien van ontkoppelcondensatoren. De uitgang van de eerste op-amp gaat naar "TP1". Dit is een van de twaalf testpunten, die naar de rand van de print zijn gevoerd en die worden gebruikt voor het afregelen van de schakeling.

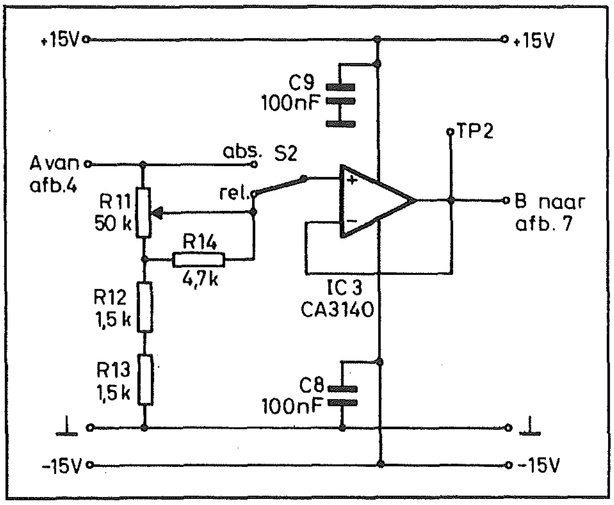
De absoluut/relatief buffer

Deze schakeling is getekend in figuur 4/7.38-5. Als schakelaar S2 in de stand "ABS" staat, wordt de uitgangsspanning van de ingangsschakeling (punt A) rechtstreeks doorgekoppeld naar de ingang van buffer IC3 en verschijnt onbewerkt op de uitgang (punt B). In de stand "REL" wordt een weerstandsdeler tussengeschakeld, die zo is gedimensioneerd dat het verdraaien van potentiometer R11 een totale variatie van 20 dB op de uitgang mogelijk maakt.

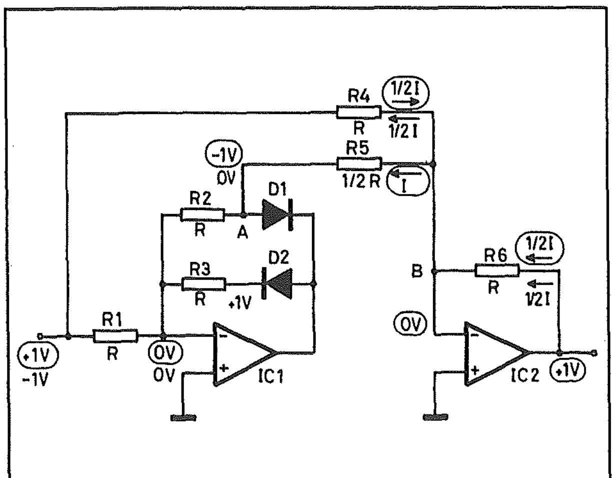
De gelijkrichter

Het principe van deze schakeling is getekend in figuur 4/7.38-6. De niet-inverterende ingangen van beide op-amp's lig-

gen aan de massa, bijgevolg zal de schakeling er naar streven de inverterende ingangen ook op massapotentiaal te krijgen. Stel dat men een ingangsspanning van +1 V aan de ingang legt. Over R1 staat dan een spanning van 1 V. Wil de inverterende ingang van IC1 ook op nul volt staan, dan is het noodzakelijk dat punt A een spanning van -1 V voert.



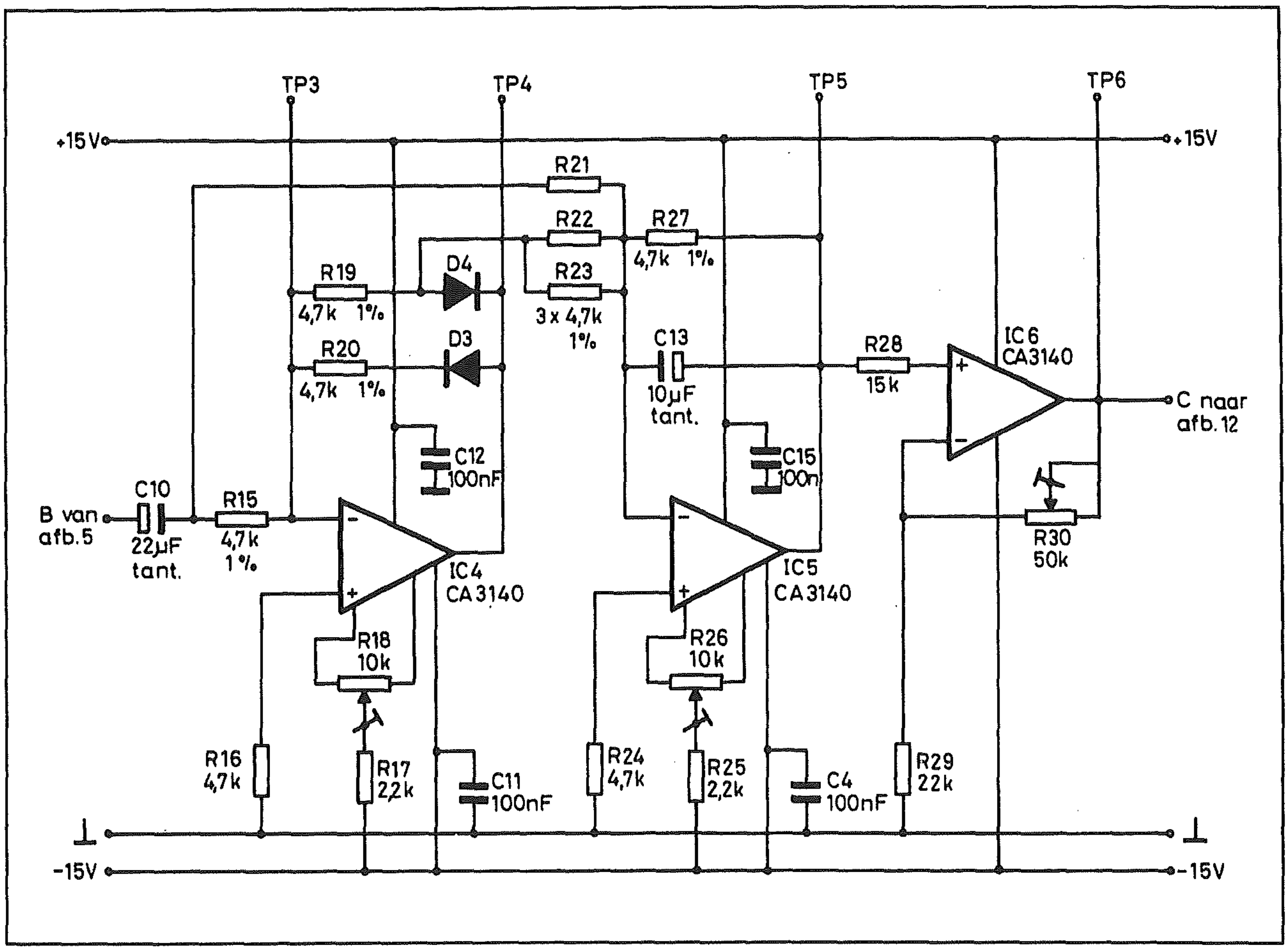
Figuur 4/7.38-5: Het schema van de absoluut/relatief omschakelaar.



Figuur 4/7.38-6: Het principe van de nauwkeurige gelijkrichter.

R1 is immers gelijk aan R2 en het knooppunt van beide weerstanden kan alleen nul zijn als aan de vrije uiteinden van de weerstanden spanningen staan met dezelfde absolute grootte, maar tegengestelde polariteit. Deze 1 V staat over R5 en door deze weerstand vloeit een stroom I. Over R4 staat ook 1 V, zodat door deze weerstand, die de dubbele waarde van R5 heeft, een stroom van 1/2 * I vloeit. Als men de wet van Kirchhoff toepast op punt B, blijkt dat door R6 een stroom van 1/2 * I moet vloeien, met de getekende polariteit. Omdat R6 gelijk is aan R4 kan dat alleen, als de uitgang van IC2 op +1 V staat. Nu legt men aan de ingang een spanning van -1 V aan. Diode D1 gaat sperren (de uitgang van op-amp IC1 wordt immers positief), zodat op punt A geen spanning staat. Door weerstand R5 vloeit geen stroom, beide aansluitingen van het onderdeel staan op 0 V. Door R4 vloeit een stroom van 1/2 * I. Deze stroom komt ergens vandaan, namelijk uit R6. Vandaar dat ook nu de uitgang van IC2 een spanning van +1 V voert.
Conclusie: de schakeling werkt als ideale gelijkrichter, die positieve spanningen onveranderd doorlaat en negatieve spanningen inverteert. Het aanleggen van een sinus aan de ingang levert een gelijkgericht signaal, waarvan de topwaarde gelijk is aan de topwaarde van de sinus.
Het praktisch schema van de gelijkrichter is getekend in figuur 4/7.38-7. Het uitgangssignaal van de buffer wordt via tantaalcondensator C10 aangeboden aan de ingang van de eerste operationele versterker IC4. Zodoende heeft men geen hinder van de offset-spanningen van de eerste drie op-amp's. De schakeling rond IC4 en IC5 volgt het principe-schema. De weerstanden R15, R19, R21, R22, R23 en R27 zijn uiteraard 1 % exemplaren.

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter



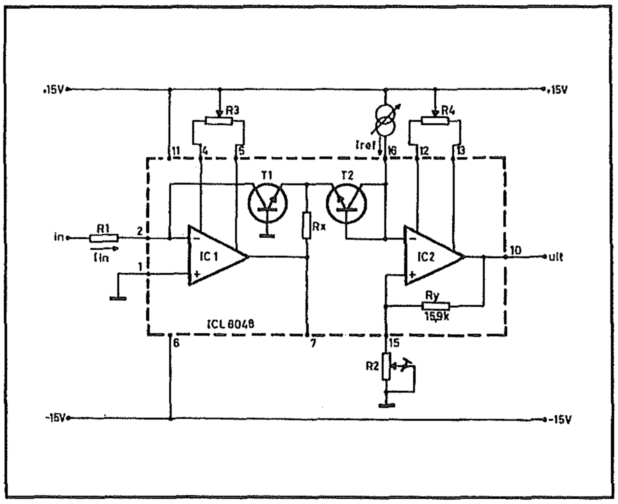
Figuur 4/7.38-7: Het praktisch schema van de gelijkrichter.

Door het parallel schakelen van R22 en R23 kan het probleem van R en 1/2 * R elegant opgelost worden. Tussen de uitgang en de inverterende ingang van IC5 is een kleine tantaal-condensator C13 geschakeld, die zorgt voor het afvlakken van de gelijkgerichte spanning. Over deze condensator ontstaat zodoende een gemiddelde waarde, die echter kleiner is dan de effectieve waarde van de aan de ingang aangeboden wisselspanning.
Men is echter zeer geïnteresseerd in de effectieve waarde, vandaar een extra versterkertje rond IC6, dat de afgevlakte spanning over C13 oppept tot de gevraagde grootheid. De offset-spanningen van IC4 en IC5 kunnen de nauwkeurigheid van de AC/DC-omzetting voor kleine spanningen beïnvloeden, vandaar de instelpotmeters R18 en R26. Ook hier zijn testpunten aangebracht, die nodig zijn voor de diverse afregelingen van deze schakeling.

Principe van de logaritmische omvormer
In feite bestaat er slechts één algemeen aanvaard principe voor het omzetten van een spanning of stroom in zijn logaritme, dat is het gebruik maken van het verband tussen collectorstroom en basis/emitter-spanning van een transistor. Dat verband is over een vrij groot gebied logaritmisch. Als de collectorstroom een factor 10 stijgt of daalt, dan zal de basis/emitter-

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter

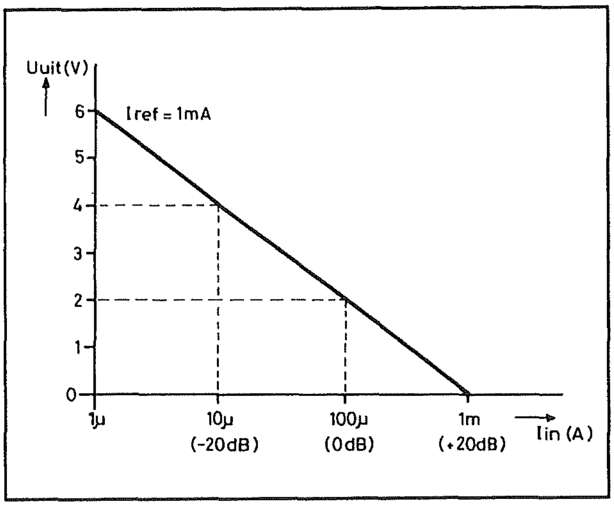
spanning met een constant aantal millivolt stijgen of dalen.
Nu komen er bij de realisatie van een dergelijke schakeling nogal wat problemen kijken. In de eerste plaats is de basis/emitter-spanning van een transistor zeer temperatuursafhankelijk. In feite moet de transistor op een constante temperatuur worden gehouden. In de tweede plaats heeft een geleidende transistor een basis/emitter-spanning van ongeveer 0,7 V en de genoemde variatie treedt op rond dit punt en wel met gemiddeld 60 mV per decade collectorstroom variatie. Het is dus erg moeilijk deze kleine signaalspanning uit de instelspanning "te filteren". Vandaar dat men steeds gebruik maakt van twee identieke transistoren, ondergebracht in één behuizing. Door één transistor stuurt men een constante referentie-stroom, de andere wordt doorlopen door de logaritmisch om te zetten stroom. Men meet dan het verschil tussen beide basis/emitter-spanningen en dit verschil kan dan verder worden versterkt.
Experimenten met transistoren van één array en operationele versterkers hadden niet het gewenste resultaat: de logaritmische omzetting was zeer temperatuuronstabiel. Vandaar dat uiteindelijk is gekozen voor gebruik van een speciaal voor dit doel ontworpen IC, het ICL8048 van Intersil. Dit IC bevat een complete logaritmische omzetter volgens het geschetste principe, heeft een gebied van 6 decaden, een nauwkeurigheid van 0,5 %, is vrij goed gestabiliseerd tegen temperatuursvariaties, maar... kost ongeveer *f* 70,00!
Figuur 4/7.38-8 geeft een overzicht van de aansluiting en het inwendige van dit IC. De transistoren, T1 en T2, vormen het hart van de schakeling. De laatste transistor wordt doorlopen door een constante stroom I_{ref}. T1 krijgt de ingangsstroom via weerstand R1 aangeboden. De basis van T1 ligt aan massa, de basis van T2 aan de inverterende ingang van IC2. De emitters zijn met elkaar verbonden.



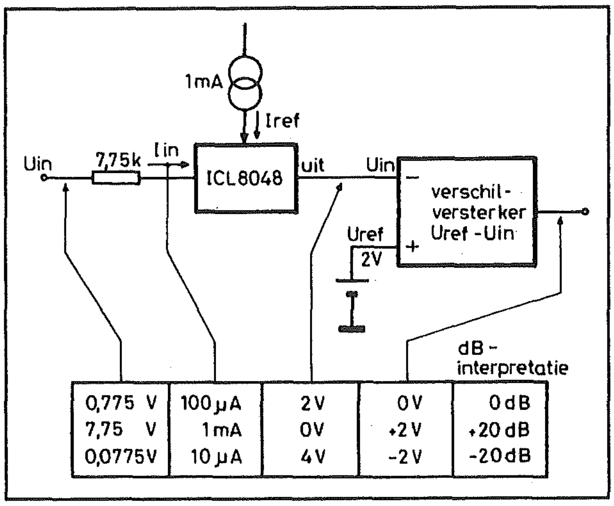
Figuur 4/7.38-8: Het intern schema van de ICL8048.

Het zal duidelijk zijn dat men tussen massa en de inverterende ingang van genoemde op-amp het spanningsverschil tussen beide basis/emitter-overgangen terug vindt. Deze spanning verhoudt zich logaritmisch tot de waarde van de ingangsstroom. Na extra versterking door IC2 wordt de uitgangsspanning via pen 10 aan de buitenwereld aangeboden. De instelweerstanden, R3 en R4, dienen voor het compenseren van de offset-spanningen van de operationele versterkers. Figuur 4/7.38-9 geeft het verband tussen de ingangsstroom I_{in} en de uitgangsspanning U_{uit} voor een gegeven referentiestroom van 1 mA. Als de ingangsstroom ook 1 mA is, dan is de uitgangsspanning 0 V, hetgeen logisch is want de logaritme van 1 (de verhouding van referentiestroom tot ingangsstroom) is nul.

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter

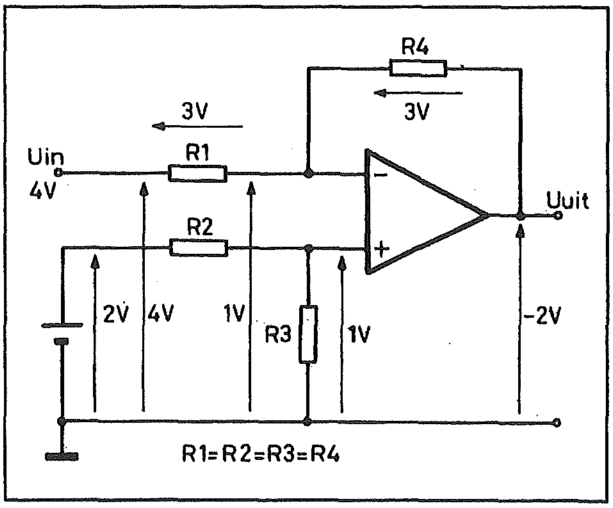


Figuur 4/7.38-9: De transfer-karakteristiek van de ICL8048.



Figuur 4/7.38-10: Voorbeelden van de omzetting van gelijkspanning in "dB"-spanningen.

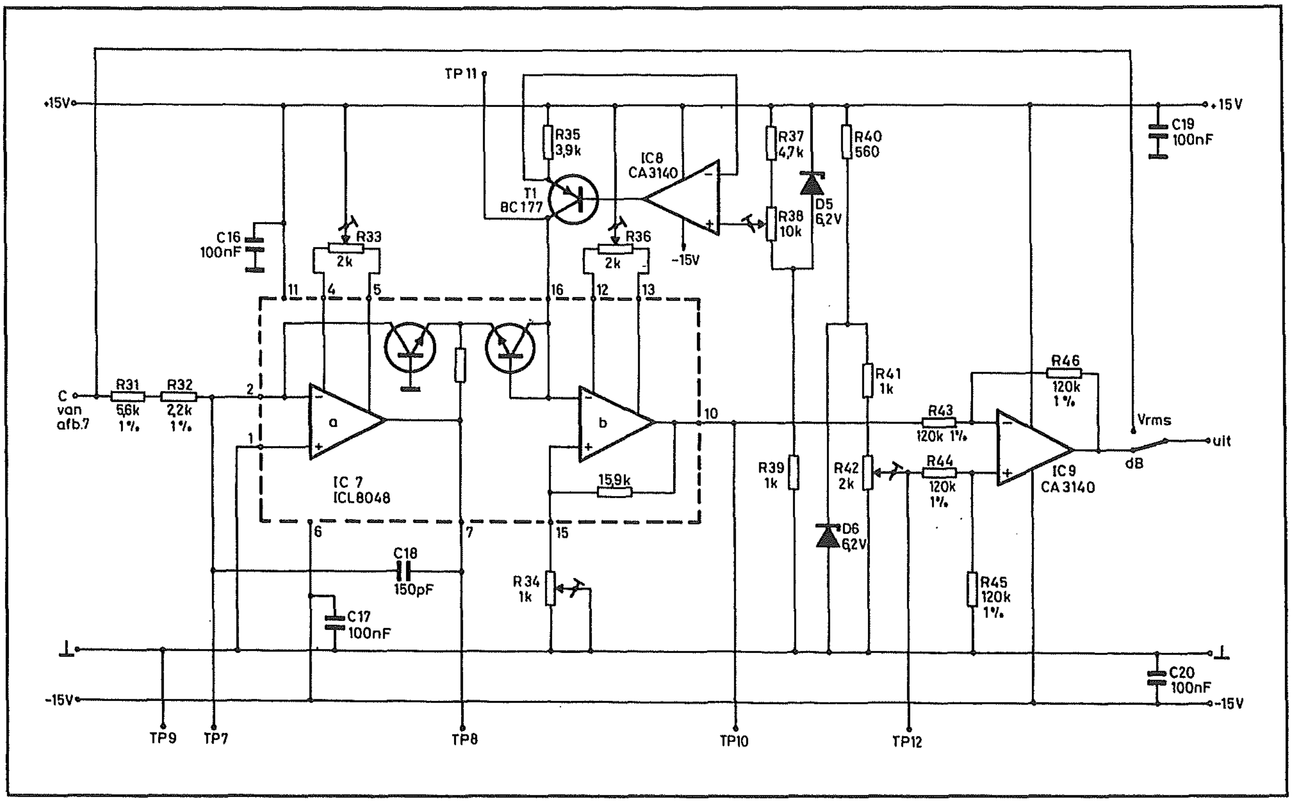
Voor een ingangsstroom van 1 µA is de uitgangsspanning 6 V, waaruit men kan afleiden dat de omzettingsfactor gelijk is aan 2 V per decade stroomvariatie. Het gewenste basismeetgebied van de schakeling gaat van -20 dB tot en met +20 dB. Dat komt overeen met 2 decaden spanning- (of stroom-)variatie. Men moet nu dus een bepaalde ingangsstroom voor het IC kiezen, die gelijk wordt gesteld aan 0 dB. Het meest logische is hiervoor de waarde 100 µA te kiezen, zodat de stroomvariatie aan de ingang van het IC tussen 10 µA en 1 mA moet liggen. Het IC honoreert dit met een spanningsvariatie tussen 4 V en 0 V. Deze variatie kan men met een eenvoudig verschilversterkertje omzetten in de gewenste band van -2 V tot en met +2 V. Figuur 4/7.38-10 geeft enige voorbeeldjes. Als de weerstand aan de ingang van de ICL8048 precies 7,75 kΩ wordt gekozen, dan zal een ingangsspanning van 0,775 V een ingangsstroom van 100 µA veroorzaken. De logaritmische convertor zet deze stroom om in een spanning van 2 V. De verschilversterker trekt deze spanning van een constante spanning van 2 V af en het resultaat is 0 V.
Conclusie: de aangeboden ingangsspanning van 0,775 V is omgezet in een spanning van 0 V, oftewel 0 dB.



Figuur 4/7.38-11: Het principe van de verschilversterker.

De verschilversterker
Het principe van de verschilversterker is getekend in figuur 4/7.38-11.

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter



Figuur 4/7.38-12: Het praktisch schema van de logaritmische omzetting.

Vier identieke weerstanden zijn geschakeld rond een operationele versterker. R2 en R3 vormen een spanningsdeler, die de helft van de referentiespanning van 2 V aan de niet-inverterende ingang legt. De inverterende ingang zal ook op dit potentiaal gaan staan. Als aan de ingang 4 V wordt gelegd, betekent dit dat over R1 een spanning van 3 V valt. De stroom, die door deze weerstand vloeit kan alleen afkomstig zijn van de uitgang van de op-amp. Omdat R4 gelijk is aan R1 zal over de eerstgenoemde ook een spanning van 3 V ontstaan. De linker aansluiting van R4 staat op +1 V, de rechter moet dus op -2 V zijn aangesloten.

Praktisch schema van de logaritmische omvormer

Figuur 4/7.38-12 geeft het praktisch schema van dit deel van de schakeling. De ingangsspanning wordt omgezet in een stroom door middel van de serieschakeling van R31 en R32. De gekozen waarde van 7,8 kΩ benadert de theoretisch gewenste waarde van 7,75 kΩ voldoende. Condensator C18, tussen de inverterende ingang van de eerste op-amp uit IC7 en zijn uitgang, wordt door de fabrikant voorgeschreven als frequentiestabiliserend element. De stroombron voor de constante stroom is op de bekende manier samengesteld met een transistor en een op-amp (T1 en IC8). De spanning over zenerdiode D5 dient als referentie. Een deel van deze spanning wordt vergeleken met de spanning over emitterweerstand R35. De op-amp zorgt ervoor, dat beide spanningen steeds aan elkaar gelijk zijn. Door het instellen van R38 kan men de referentiestroom op 1 mA instellen. Ook de 2 V referentiespanning voor de verschilver-

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter

sterker wordt afgeleid van de spanning over een zenerdiode van 6,2 V (D6). Door middel van schakelaar S3 kan men de uitgang van het apparaat verbinden met de uitgang van de gelijkrichter (meten van U_{eff}) of met de uitgang van de verschilversterker (meten van dB).

De voeding

De schakeling moet gevoed worden uit symmetrische en gestabiliseerde spanningen van +/-15 V. Een traditionele voeding met trafo, vier dioden, twee elco's en twee stabilisatoren 7815 en 79156 voldoet uitstekend. Het geheel verbruikt ongeveer +/-250 mA.

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %

R6,R39,R41	1 kΩ
R7,R29	22 kΩ
R8	27 kΩ
R9	220 kΩ
R12,R13	1,5 kΩ
R14,R16,R24,R37	4,7 kΩ
R17,R25	2,2 kΩ
R28	15 kΩ
R35	3,9 kΩ
R40	560 Ω

WEERSTANDEN, METAALFILM, 1/4 W, 1 %

R1	680 kΩ
R2	220 kΩ
R4,R5	150 kΩ
R15,R19,R20,R21,R22,R23,R27	4,7 kΩ
R31	5,6 kΩ
R32	2,2 kΩ
R43,R44,R45,R46	120 kΩ

INSTELPOTENTIOMETERS, 10 TOEREN CERMET

R3,R10,R30	50 kΩ
R18,R26,R38	10 kΩ
R33,R36,R42	2 kΩ
R34	1 kΩ

DRAAIPOTENTIOMETER, MONO, LINEAIR

R11	50 kΩ

CONDENSATOREN

C1	560 nF	MHK
C2	47 pF	foltrimmer
C3	220 pF	ceramisch
C4,C5,C6,C7,C8,C9,C11,C12	100 nF	MKH
C14,C15,C16,C17,C19,C20	100 nF	MKH
C10	22 µF	tantaal, 25 V
C13	10 µF	tantaal, 25 V
C18	150 pF	ceramisch

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter

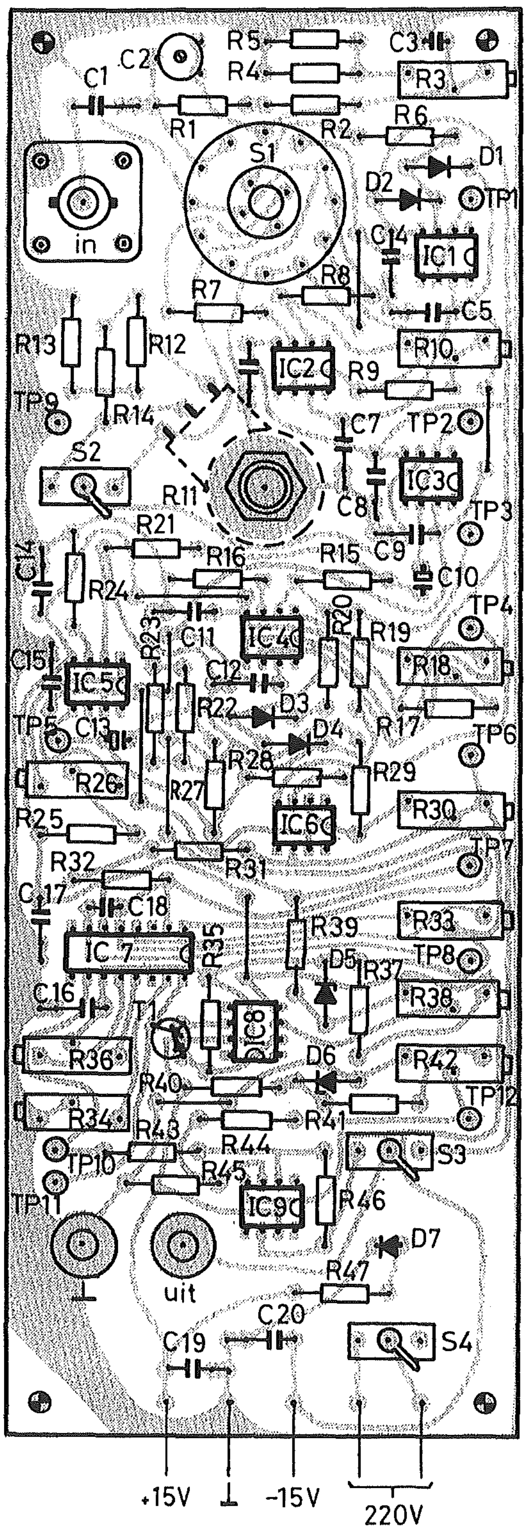
HALFGELEIDERS	
D1,D2,D3,D4	1N4148
D5	6,2 V, 400 mW zenerdiode
D6	6,2 V, 400 mW zenerdiode
T1	BC177
IC1,IC2,IC3,IC4,IC5,IC6,IC9	CA3140, mini-DIL
IC7	ICL8048CCPE
DIVERSEN	
S1	3 x 4 draaischakelaar, Lorlin print
S2,S3,S4	tuimelschakelaar 1 x OM, 7101 C&K
22 x	printsoldeerlipje
8 x	IC-voetje, 8 pennen
1 x	IC-voetje, 16 pennen
1 x	koelprofiel voor 16-pens DIL-IC
1 x	BNC chassisdeel, 4-gats
2 x	4 mm stekerbussen
4 x	5 mm afstandsbussen
4 x	M3x25 boutje
4 x	M3 moertje

Bouw van de schakeling
Figuur 4/7.38-13, op de transparante pagina, geeft het printontwerp voor de schakeling. Zoals gebruikelijk zijn alle onderdelen op deze print aangebracht, wat ook blijkt uit figuur 4/7.38-14.
Puntsgewijs enige opmerkingen.
- Het IC ICL8048 wordt voorzien van een koelprofieltje, wat echter niet hoger dan 1 cm mag wezen.
- Potentiometer R11 wordt op de print geschroefd en de aansluitingen worden nadien op de koperzijde van de print op de drie eilandjes gesoldeerd.
- De BNC-ingangsbus wordt door middel van vier, 15 mm lange, afstandsbusjes op de print geschroefd. De massa wordt hierbij automatisch met de print verbonden.
- De drie omschakelaars moeten van het type 7101 van C&K zijn, omdat S4 de netspanning schakelt en niet alle miniatuurschakelaars 230 V verdragen.
- De instelpotmeters zijn 20- of 15-slagen miniatuur exemplaren, waarvan de drie aansluitingen in een driehoek staan; let hierop bij de aankoop. Er zijn soortgelijke uitvoeringen waarbij de aansluitingen in een lijn staan en deze passen niet in de print.

Uit de foto van figuur 4/7.38-15 blijkt hoe een en ander tot een compact geheel samengebouwd kan worden.
Het kastje van het proto-type is vervaardigd uit vijf aluminium plaatjes, door hoekprofielen van de juiste lengte verbonden. Alvorens echter het kastje rond het geheel wordt gemonteerd, moet de schakeling worden afgeregeld.

Afregelen
De afregeling is een flinke klus, er zijn niet minder dan 11 afregelpunten. De tabel van figuur 4/7.38-16 geeft een overzichtje met de functie van ieder afregel onderdeel.

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter

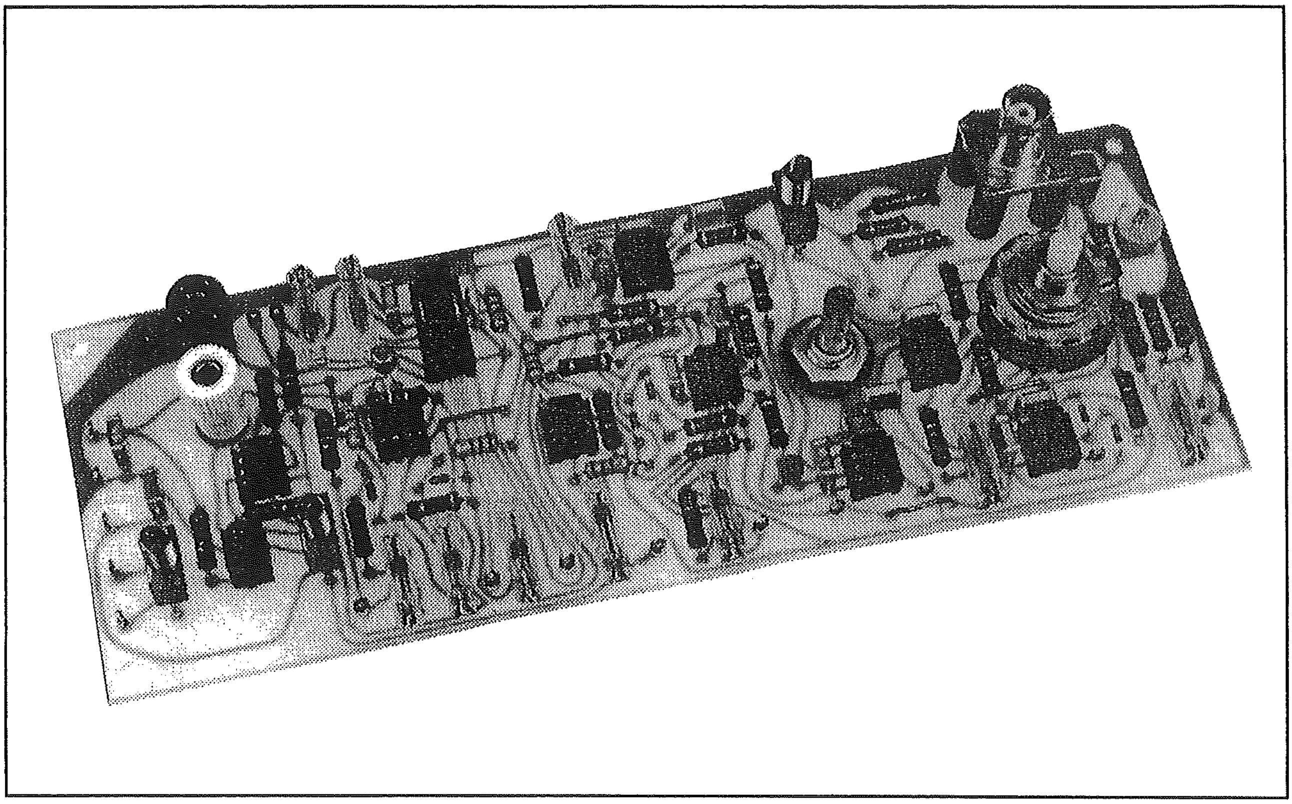


Figuur 4/7.38-14: De componentenopstelling.

Laat het geheel ongeveer een kwartier opwarmen. De afregeling wordt puntsgewijs besproken.

- Afregelen van de ingangsspanningsdeler
  Sluit een sinusgenerator (1 kHz, 0,5 V) aan op de ingang van het apparaat. Verbindt een op wisselspanning geschakelde digitale universeelmeter tussen massa en TP1. Zet schakelaar S1 op de stand "1 V/-20 dB". Regel de uitgangsspanning van de oscillator af tot de meter precies 0,500 V aanwijst. Zet S1 nu op de stand "100 V/+20 dB". Regel R3 af op 0,050 V op de meter.
- Afregelen van de ingangsversterker
  Verplaats de digitale meter naar TP2, zet S1 op "10 V/0 dB" en S2 op "ABS". Als de uitgangsspanning van de sinusgenerator niet is verlopen, moet men op TP2 0,500 V aflezen. Zet S1 nu op "1 V/-20 dB". Regel R10 af op een uitlezing van 5,00 V.
- Controle van de voorafgaande afregelingen
  Als men S1 omschakelt van 1 V naar 10 V en naar 100 V, moet de spanning op TP2 respectievelijk 5 V, 0,5 V en 0,05 V bedragen.
- Afregelen van de frequentiecompensatie
  Laat alle apparatuur aangesloten zoals beschreven. Zet de uitgangsspanning van de sinusoscillator op 5,00 V, 1 kHz. Zet schakelaar S1 op de stand "100 V/+20 dB" en lees de spanning op TP2 af. Deze zal 0,50 V bedragen. Zet de sinusgenerator nu op 20 kHz en controleer of de uitgangsspanning nog wel 5,00 V is. Zo niet, corrigeren!
  Ga dan terug met de meter naar TP2 en regel trimmer C2 af tot de spanning op dat punt 0,50 V bedraagt.

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter



Figuur 4/7.38-15: Het proto-type van de schakeling.

- Afregelen van de offset van IC4
  Verwijder de sinusoscillator en sluit de ingang van de logaritmische omvormer kort. Zet de digitale meter, nu op gelijkspanning geschakeld, op TP4. Omdat IC4 een terugkoppelkring heeft, waarin twee nu niet geleidende dioden zitten, werkt deze op-amp zowat in open lus. Het is onmogelijk de offsetspanning te compenseren. Soldeer daarom een weerstand van 4,7 kΩ tussen TP3 en TP4, waardoor de versterking wordt gereduceerd. Regel R18 af tot op TP4 een spanning van 0,000 V staat.
- Afregelen offset van IC5 en IC6
  Zet de digitale meter op TP6. Regel R26 af tot de meter 0,000 V aanwijst. Verwijder de weerstand van 4,7 kΩ tussen TP8 en TP4.
- Afregeling van de ijking van de gelijkrichter
  Sluit de sinusoscillator weer aan, ingesteld op 1 kHz en een uitgangsspanning van 5,00 V. Zet S1 op stand "10 V/0 dB" en S2 op "ABS". Regel R30 af tot op TP6 een gelijkspanning van 5,00 V ontstaat.
- Afregelen van de referentiestroom van de logaritmisch omvormer
  Sluit de ingang kort, zet de digitale meter op gelijkstroommeting en sluit het apparaat aan tussen TP9 (-) en TP11 (+). Verdraai R38 tot de gemeten stroom gelijk is aan 1,000 mA.
- Afregelen offset IC7a
  Sluit een weerstand van 10 kΩ aan tussen TP7 en TP8. Hiermee wordt de versterking van de eerste op-amp uit IC7 gereduceerd.

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter

R3	instellen van de deelfactor van de ingangsspanningsdeler op 10
C2	frequentiecompensatie van de ingangsspanningsdeler
R10	instellen van de versterkingsfactor van de ingangsversterker op 10
R18	compenseren van de offset-spanning van de eerste opamp van de gelijkrichter
R26	compenseren van de offset-spanning van de tweede opamp van de gelijkrichter
R30	instellen van de omzettingsfactor van de gelijkrichter op 1 V uitgang per 1 V effectief op de ingang
R33	compenseren van de offset-spanning van de eerste opamp van de logaritmische omvormer
R36	compenseren van de offset-spanning van de tweede opamp van de logaritmische omvormer
R34	instellen van de omzettingsfactor van de logaritmische omvormer op 2 V per decade stroomvariatie
R38	instellen van de referentiestroom van de logaritmische omvormer op 1 mA
R42	instellen van de referentiespanning van de verschilversterker op 2 V

Figuur 4/7.38-16: Een overzicht van de functie van alle afregel potentiometers en trimmers.

De ingang is nog steeds kortgesloten. Zet de positieve aansluiting van de digitale meter, weer op gelijkspanning geschakeld, op TP8. Regel R33 af op een meting van 0,000 V.

- Afregelen van de offset van IC7b
  Sluit de sinusgenerator weer aan, ingesteld op 1 kHz en een uitgangsspanning van 7,750 V. Stel deze spanning zo nauwkeurig mogelijk in! Zet S1 op de stand "10 V/0 dB" en S2 op "ABS". Verbind de digitale meter met TP10 en regel R36 af op 0,000 V.
- Afregelen van de omzettingsfactor van IC7
  De sinusgenerator op de ingang wordt ingesteld op een uitgangsspanning van 0,0775 V. Schakelaar S1 blijft op de stand "10 V/O dB" staan. Regel R34 af op 4,00 V op TP10.
- Afregelen van de verschilversterker
  Zet 0,775 V op de ingang, bij 1 kHz. Schakel de digitale meter over de uitgangsklemmen van het apparaat. Zet S3 op "dB". Regel R42 af op 0,000 V op de uitgang.

Hiermee is het apparaat afgeregeld. Het is aan te bevelen de schakeling enige dagen aan te laten staan en nadien de afregelprocedure te herhalen.

Specificaties

Zelf ontworpen apparaten kunnen natuurlijk nooit aan dezelfde specificaties voldoen als (goede) fabrieksapparaten. Daar beschikt men immers over een staf aan technische medewerkers, zeer dure meetinstrumenten, veel ervaring en dingen zoals een temperatuurskamer, waarmee de stabiliteit van ontwerpen kan worden getest. Een goede en uitgebreide test van zelfontworpen apparaten is dus zeker aan te bevelen en niet minder dan een morele plicht, wanneer een dergelijk ontwerp bovendien in een publicatie wordt beschreven en aanbevolen voor nabouw. De logaritmische omvormer is uitvoerig getest en kan de toets der kritiek zeker

doorstaan. Het testen ging als volgt. Na de eerste afregeling werd het apparaat ongeveer een week continu met de netspanning verbonden. Hierna volgde een tweede afregelprocedure, waarbij opviel dat de logaritmische omvormer (de schakeling rond IC7) flink was verlopen. Nadien werd het apparaat ongeveer een maand min of meer regelmatig gebruikt. Het testen ging aan het schrijven van dit hoofdstuk vooraf. Als referentiemeter werd de Philips PM2525 gebruikt, een digitale universeelmeter met een uitlezing tot 1,99999 en dB-meetgebieden met een resolutie van 0,01 dB.

Referentie-waarde in V	Gemeten waarde in V
10,000	10,02
9,000	9,05
8,000	8,04
7,000	7,03
6,000	6,03
5,000	5,03
4,000	4,02
3,000	3,01
2,000	2,01
1,000	1,00
0,900	0,906
0,800	0,804
0,700	0,703
0,600	0,603
0,500	0,502
0,400	0,401
0,300	0,301
0,200	0,202
0,100	0,102

Figuur 4/7.38-17: Resultaten van de U_{eff} metingen.

– Figuur 4/7.38-17
Deze tabel toont de resultaten van de U_{eff} metingen. Aan de ingang van het apparaat werden sinusspanningen van 1 kHz aangeboden van 10,000 V tot en met 0,100 V. Deze spanning werd met de Philips meter ingesteld, terwijl de uitgang van de logaritmische omvormer was aangesloten op een Fluke, model 8050A digitale universeelmeter. De gemeten waarden spreken voor zichzelf: uitstekend!

Referentie-waarde in dB	Gemeten waarde in dB
+20,00	+19,85
+18,00	+17,69
+16,00	+15,61
+14,00	+13,52
+12,00	+11,49
+10,00	+ 9,48
+ 8,00	+ 7,51
+ 6,00	+ 5,47
+ 4,00	+ 3,48
+ 2,00	+ 1,50
0,00	− 0,47
− 2,00	− 2,40
− 4,00	− 4,40
− 6,00	− 6,35
− 8,00	− 8,32
−10,00	−10,23
−12,00	−12,16
−14,00	−14,15
−16,00	−16,03
−18,00	−17,99
−20,00	−19,91

Figuur 4/7.38-18: Het resultaat van de dB metingen.

– Figuur 4/7.38-18
De tabel 3 van figuur 4/7.38-18 toont het resultaat van de dB-metingen. De procedure was gelijkaardig. De Philips mat de uitgang van de sinusgenerator

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter

in dB en de Fluke gaf aan wat de logaritmische omvormer er van vond. Zoals te verwachten treden hier grotere afwijkingen op. Bij het experimenteren met het IC ICL8048 was immers reeds opgevallen dat ook deze schakeling last heeft van temperatuursverloop. Toch zijn de resultaten meer dan bruikbaar voor de meeste praktijkmetingen.

- Figuur 4/7.38-19
  In de tabel van figuur 4/7.38-19 wordt de verzwakker getest, zowel op V_{eff} als op dB. Ook hier zijn de resultaten voor een zelfbouw apparaat meer dan uitstekend te noemen.
- Figuur 4/7.38-20
  In de tabel van figuur 4/7.38-20 wordt het frequentiebereik van de omzetter getest. Aan de ingang werden sinusvormige spanningen van exact 5,00 V gelegd, met frequenties tussen 10 Hz en 100 kHz. Gemeten werd, zowel in de stand "dB" als in de stand "V_{eff}", hoe nauwkeurig de omzetter werkt. Zoals blijkt, excellent!

Schakelaar-stand −20 dB /1 V	Schakelaar-stand 0 dB /10 V	Schakelaar-stand +20 db/100 V
+20,3 dB 9,91 V	0,00 dB 1,00 V	−19,3 dB 0,099 V

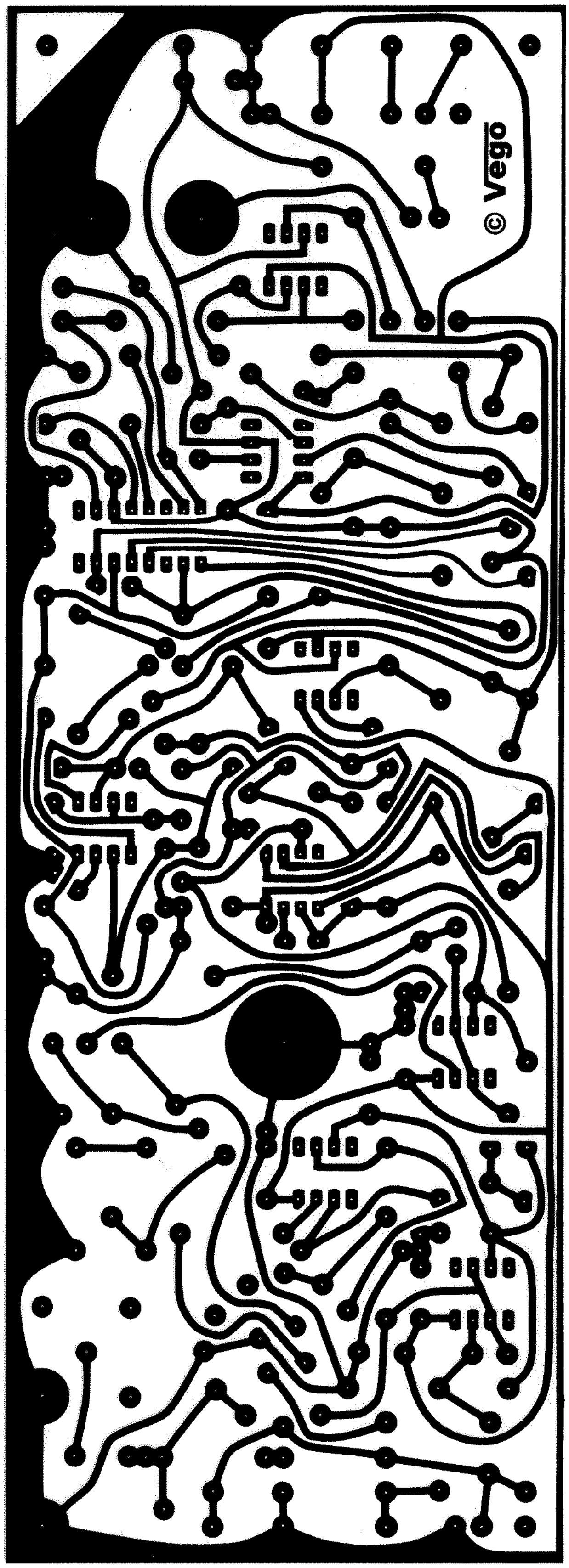
Figuur 4/7.38-19: Het testen van de verzwakker.

Frequentie in Hz	Spanning in V	Decibel in dB
10	4,85	−0,26
20	4,95	−0,11
50	4,98	−0,01
80	5,00	0,00
100	5,00	0,00
200	5,00	0,00
500	5,00	0,00
800	5,00	0,00
1 k	5,00	0,00
2 k	5,00	0,00
5 k	5,00	0,00
8 k	5,00	0,00
10 k	5,00	0,00
20 k	5,00	0,00
50 k	4,99	+0,06
80 k	5,07	+0,25
100 k	5,17	+0,44

Figuur 4/7.38-20: Het frequentiebereik van de omzetter.

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter

7.38 dB's meten met de digitale universeelmeter



Figuur 4/7.38-13: De print van de schakeling

4/7.39

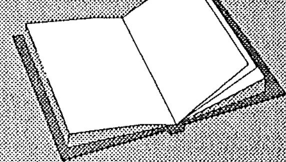
Universeel testertje met acoustische indicatie

Inleiding
In deze tijd waar het meetgebeuren hoofdzakelijk wordt bepaald door digitale geheugenoscilloscopen, logische analysatoren en digitale meters met een onuitspreekbaar kleine meetfout wordt maar al te vaak vergeten dat ook op dit gebied het de kleine dingen zijn die het leven veraangenamen.
Een typisch voorbeeld van zo'n klein dingetje is de in dit hoofdstuk besproken universele tester. Voor enige tientjes op een avondje in elkaar te solderen, maar nadien een betrouwbare en onafscheidelijke bondgenoot bij het oplossen van tal van kleine problemen op de werktafel.

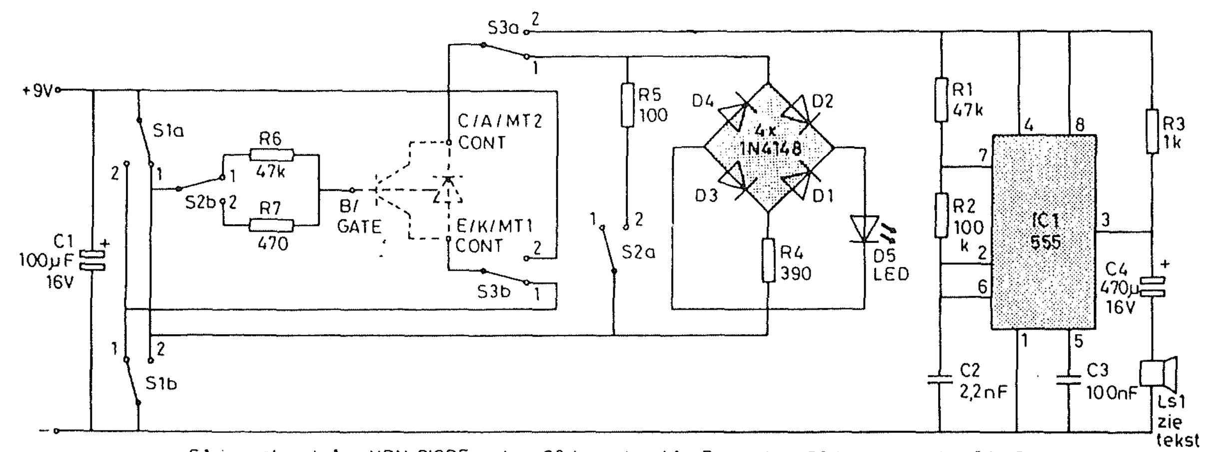
Wat kan het testertje?
Ondanks de eenvoud van de schakeling kan dit testertje toch heel wat problemen oplossen!

- Transistoren
  Op de eerste plaats transistoren testen, zowel PNP als NPN, zowel signaal- als vermogentypes. Geen ingewikkelde toeters en bellen, gewoon een LED'je dat oplicht als de transistor het nog doet.
- Dioden en LED's
  Op de tweede plaats de werking en polariteit van dioden en LED's controleren. Sluit het onderdeel afwisselend in sper en in geleiding op de tester aan, als in het ene geval de LED van de tester gedoofd blijft en in het andere geval oplicht weet men dat de diode het doet en wat anode en wat kathode is.
- Thyristoren en triac's
  Op de derde plaats thyristoren en triac's doorlichten. Sluit anode en kathode of MT1 en MT2 op het kastje aan. De LED moet gedoofd blijven. Tip de gate even aan met de derde aansluiting van de tester. De LED moet nu gaan branden en blijven branden, ook als men de verbinding met de gate weer verbreekt.
- Elco's
  Op de vierde plaats de conditie van elco's bepalen. Sluit de (ontladen) condensator aan tussen de C- en de E-aansluiting. De interne LED moet nu even oplichten en nadien doven.
- Kortsluitingen en onderbrekingen
  Op de vijfde plaats kortsluitingen en onderbrekingen op printen en in snoeren en kabels opsporen.

LEES OOK:
Hoofdstuk 4/7.10
Hoofdstuk 4/7.14
Hoofdstuk 4/7.20



7.39 Universeel testertje met acoustische indicatie



Figuur 4/7.39-1: Het volledig schema van de universele tester.

Zet S3 in de CONT-stand en gebruik de C- en E-klem van de tester om kabels en printen door te meten. Een kortsluiting of lage weerstand tussen de meetklemmen laat de tester piepen, een onderbreking of hoge weerstand heeft een doodse stilte tot gevolg.

Het praktisch schema

Het schema van de universele tester is getekend in figuur 4/7.39-1. In feite valt de schakeling uiteen in twee volledig gescheiden blokken, die door het bedienen van omschakelaar S3 op de voorgrond treden.
Als de schakelaar in de bovenste stand staat (CONT) wordt de geleidings- of continuiteits-tester ingeschakeld. Deze schakeling bestaat uit niets meer dan een astabiel oscillatortje, met een 555-timer als actief element. De timer wekt een blokspanning op met een frequentie van ongeveer 2 kHz en zal gaan werken als er tussen de klemmen C en E een kortsluiting of een zeer lage weerstand staat. Alleen als aan de gestelde voorwaarde wordt voldaan zal de 555 met de +9 V voeding worden verbonden. De uitgang van de multivibrator stuurt via elco C4 een ceramische resonator LS1, de blokspanning wordt in een hoorbaar toontje omgezet. Als er echter tussen de aansluitingen C en E een hoge weerstand staat slaat de oscillator af en houdt de resonator zijn kristallen mond. Men kan ieder type resonator gebruiken zonder ingebouwde multivibrator, bijvoorbeeld type KSS-1612 van Kingstate.
In de onderste stand van omschakelaar S3 wordt de componententester actief. Deze schakeling bevat slechts een paar instelweerstanden en een LED'je dat gaat branden als er door het te testen onderdeel een stroom vloeit. Omdat het de bedoeling is zowel PNP- als NPN-transistoren te onderzoeken moet de polariteit van de voedingsspanning omschakelbaar zijn. Deze taak wordt volbracht door omschakelaar S1, die in de stand NPN/DIODE de positieve voedingsaansluiting via R4 en

7.39 Universeel testertje met acoustische indicatie

LED D5 met de C-uitgang van de tester verbindt en de negatieve voedingsaansluiting met de E-uitgang. In de stand PNP worden deze verbindingen omgepoold.
Omdat er in slechts één richting stroom door de LED kan vloeien is dit onderdeel opgenomen in een gelijkrichtbrug, samengesteld uit de dioden D1 tot en met D4. Deze brug zorgt ervoor dat de stroom zowel in de stand PNP als in de stand NPN het lichtende onderdeel van anode naar kathode penetreert.
Natuurlijk wil ook de basis van een geteste transistor of de gate van een verdachte triac graag elektronen ontvangen. Vandaar dat er van de bovenste voedingsaansluiting, positief of negatief, via schakelaar S2 weerstanden ingeschakeld worden die deze elektronen maar wat graag aan de derde uitgang (B/GATE) van de tester ter beschikking stellen. Die schakelaar S2 is tussengeschakeld om de grootte van de basis/gate-stroom te kunnen instellen.
In de stand P< wordt er slechts ongeveer 0,2 mA geleverd en in de stand P> honderd keer meer. Om in de hoogvermogen stand voldoende collector/anode/MT2-stroom te leveren wordt de stroombegrenzingsweerstand R4 overbrugd door R5.
De tester kan worden gevoed uit twee in serie geschakelde platte batterijen van 4,5 V.

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %

R1,R6	47 kΩ
R2	100 kΩ
R3	1 kΩ
R4	390 Ω
R5	100 Ω
R7	470 Ω

CONDENSATOREN

C1	100 μF	16 V printelco
C2	2,2 nF	MKH
C3	100 nF	MKH
C4	470 μF	16 V printelco

HALFGELEIDERS

D1,D2,D3,D4	1N4148
D5	LED, 5 mm, rood
IC1	555, mini-DIL

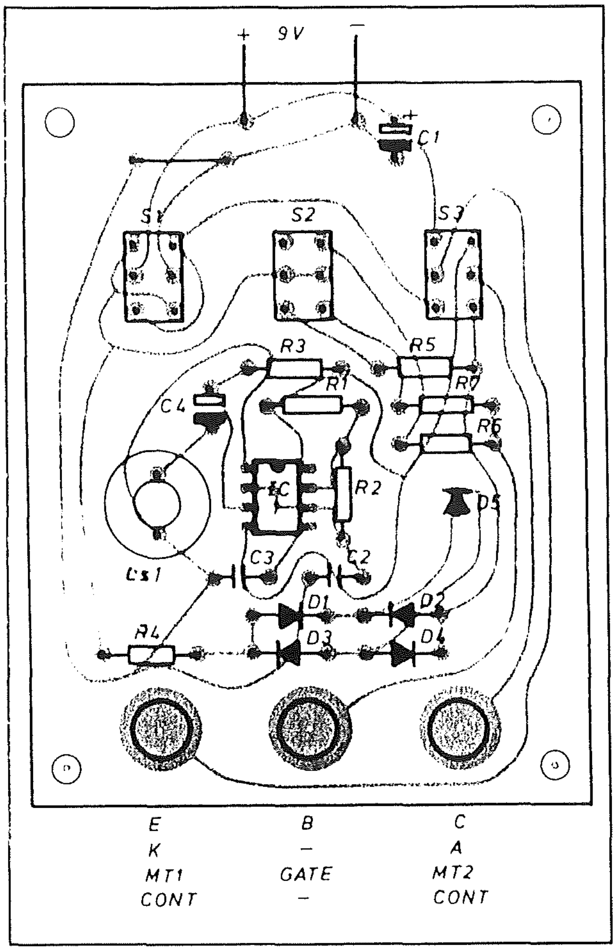
DIVERSEN

3	tuimelschakelaars, 2xOM
1	ceramische resonator
1	IC-voetje, 8 pennen
3	stekerbus, 4 mm
2	printsoldeerlipje
1	plastic afstandsbusje, 10 mm

7.39 Universeel testertje met acoustische indicatie

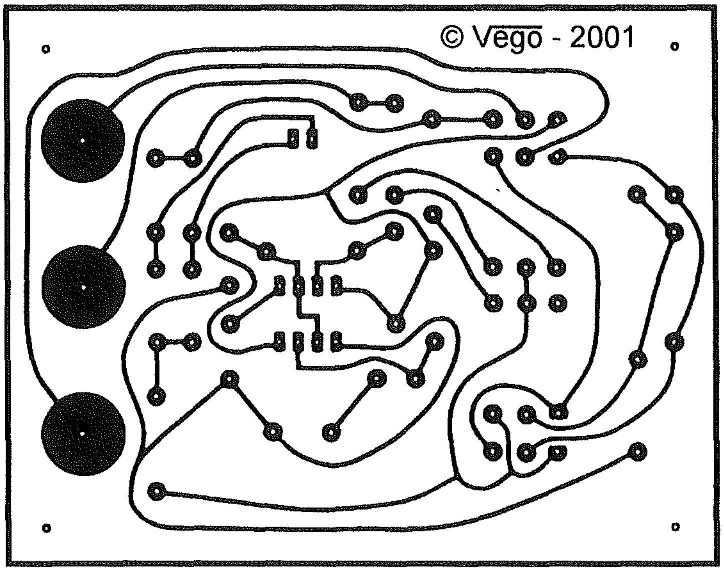
Bouw van de tester

In feite bevat het schema van het testertje meer bedrading van en naar schakelaars dan eigenlijke elektronica.
Om de nabouw zo eenvoudig mogelijk te maken is een printje ontwikkeld, zie figuur 4/7.39-2 op de laatste pagina, waarop alle schakelaars zijn geïntegreerd. De componentenopstelling is getekend in figuur 4/7.39-3, hieruit blijkt duidelijk dat de nabouw van dit apparaatje voor niemand een probleem kan vormen.
De LED kan via een 10 mm lange kunststof afstandsbusje op de juiste hoogte boven de print worden gemonteerd.



Figuur 4/7.39-3: De componentenopstelling van de print.

7.39 Universeel testertje met acoustische indicatie



Figuur 4/7.39-2: De print voor de schakeling.

HOE MAAKT U DEZE PRINT?

OPTIE 1: zelf maken

U scant deze pagina en drukt deze met een inkjet-printer af op A4 formaat op transparante folie. U knipt de print uit en belicht er de fotogevoelige printplaat mee.

OPTIE 2: via Internet

U gaat naar **www.vego.nl/hobby/** en selecteert uit het hoofdmenu het hoofdstuknummer. U kunt nu de print als TIF-file downloaden. U opent deze file in een beeldbewerkingsprogramma en drukt deze met de op de Internet-pagina aangegeven afmetingen op transparante folie af. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

OPTIE 3: GRATIS bestellen

U stuurt een **ONGEFRANKEERD** briefje naar Vego VOF, Antwoordnummer 30020, 6374 ED Landgraaf, met vermelding van het hoofdstuknummer. U krijgt per kerende post het printontwerpje op transparante folie **GRATIS** toegestuurd. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

4/7.40

Universele drie-decaden impulsteller

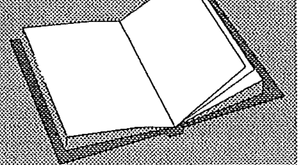
Inleiding

Een universele digitale impulsteller komt altijd van pas. Via externe besturingsschakelingen kan men zo'n teller gebruiken voor het registreren van allerlei gebeurtenissen. Hoeveel bezoekers krijgt een winkel per dag? Via een lichtsluis en dit ontwerp geen open vraag meer. Hoeveel minuten per dag wordt gebruik gemaakt van de telefoon? Ook deze vraag kan met dit ontwerp en wat eenvoudige elektronica worden beantwoord. Kortom, een universeel ontwerpje dat bovendien in een half uurtje in elkaar is te solderen.

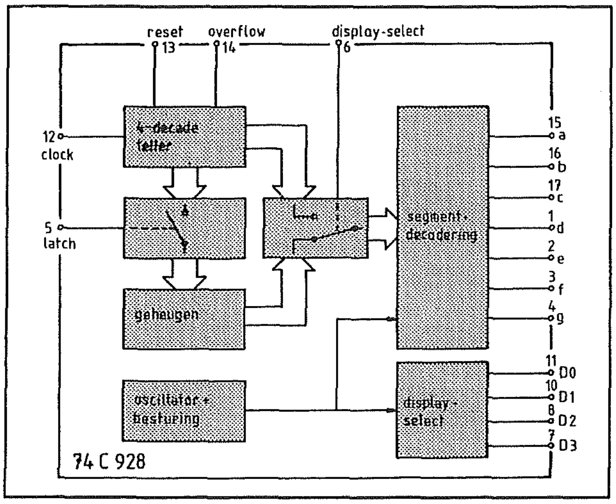
De 74C928

In feite valt er weinig te ontwerpen, want tegenwoordig zit de volledige elektronica die men voor een teller nodig heeft in één klein geïntegreerd schakelingetje. Er zijn een heleboel geïntegreerde tellers op de markt, voor dit doel is de 74C928 zonder enige twijfel het best bruikbaar. Zoals uit het intern blokschema van dit IC, getekend in figuur 4/7.40-1, blijkt bevat deze 18-pens behuizing een vier decade teller, een buffergeheugen van dezelfde omvang, een volledige besturingsschakeling en de nodige elektronica om uit de gegevens van de teller of het geheugen vier zevensegment indicatoren met gemeenschappelijke kathode te sturen. Deze vier display's worden gemultiplexed aangestuurd, dat betekent dat men alle gelijknamige segmenten van de vier uitlezingen parallel kan schakelen en het IC door middel van de displaydriver bepaalt welk display op een bepaald moment moet oplichten. De vier uitlezingen worden dus één na één aangestuurd, maar daar dit met een grote snelheid gaat en het menselijke oog traag is lijkt het alsof alle vier de indicatoren continu en gelijktijdig branden. Voor zo'n gemultiplexte sturing is uiteraard een multivibrator nodig, die de scanfrequentie opwekt waarmee de vier uitlezingen worden afgetast. Ook deze multivibrator is in het IC aanwezig, waarbij de integratie zover gaat dat men daarvoor zelfs geen externe condensator nodig heeft! De schakeling levert een scanfrequentie van ongeveer 1 kHz. De teller is uiteraard voorzien van een CLOCK-ingang, die reageert op positieve flanken en een RESET, die de inhoud van de teller leeg maakt als er een positief signaal wordt op aangesloten.

LEES OOK:
Hoofdstuk 4/7.15
Hoofdstuk 6/5.9
Hoofdstuk 6/50.14



7.40 Universele drie decaden impulsteller



Figuur 4/7.40-1: Het intern blokschema en de aansluitgegevens van de 74C928.

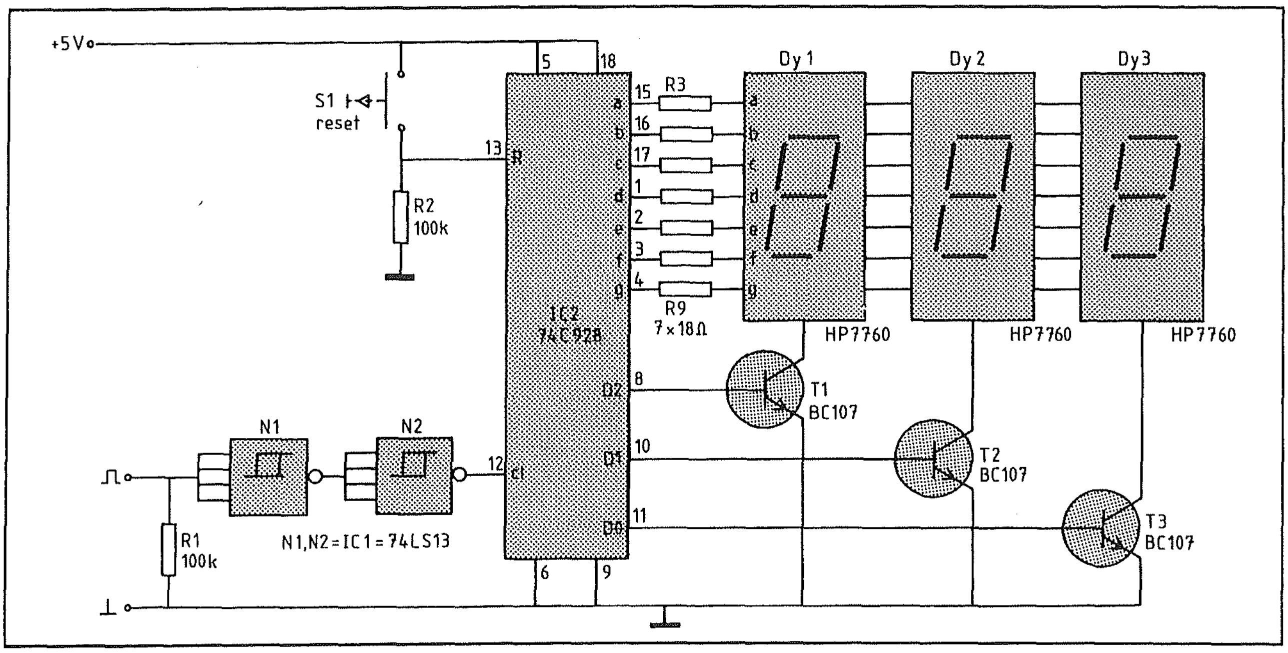
De overflow levert een positieve flank als de teller van stand "9999" weer naar stand "0000" springt. Uiteraard is deze voorziening in dit ontwerp niet noodzakelijk.
De inhoud van de vier decaden van de teller kan worden overgedragen naar een buffergeheugen, een zogenaamde latch. Daarvoor staat de stuuringang LATCH ter beschikking. Als de spanning op deze ingang "H" is zal de inhoud van de teller voortdurend worden doorgekoppeld naar het geheugen. De inhoud van het geheugen is dan steeds gelijk aan de inhoud van de teller. Maakt men de LATCH-ingang "L", dan zal de laatst ingelezen waarde in het geheugen bewaard blijven, ook als de teller gereset wordt.
Een handige voorziening van dit IC is dat men zowel de inhoud van de teller als de inhoud van het geheugen naar de uitlezing kan sturen, Met de DISPLAY SELECT ingang kan men een elektronische schakelaar sturen. Is deze ingang "H" dan wordt de ingang van het geheugen zichtbaar gemaakt. Is deze ingang echter "L", dan zal de uitlezing de inhoud van het geheugen weergeven.

De decodering van de segmenten levert stroomuitgangen aan de uitlezing. In tegenstelling tot andere schakelingen zijn echter geen stroombronnen ingebouwd, zodat men de maximale segmentstroom extern moet begrenzen door het in serie schakelen van weerstanden. De vier displaydriver uitgangen leveren positieve spanningen, die rechtstreeks in de basis van een transistor worden gestuurd.

Het praktisch schema

Aan de hand van de uitvoerige bespreking van de kenmerken van het teller-IC in de vorige paragraaf zal men geen moeite hebben de werking van de uitgewerkte schakeling van figuur 4/7.40-2 te doorgronden. In eerste instantie valt op dat er slechts drie decaden worden toegepast. Dat is immers voor de meeste praktische toepassingen meer dan genoeg. De CLOCK-ingang van het teller-IC wordt niet rechtstreeks gestuurd uit een ingangspuls, maar via twee Schmitt-trigger poorten van het type 74LS13. Deze zorgen ervoor dat de ingangspulsen worden aangepast aan de eisen die TTL-schakelingen stellen aan de te verwerken signalen.
De DISPLAY SELECT ligt aan de massa en de LATCH aan de voeding. Een en ander heeft tot gevolg dat het geheugen de inhoud van de teller continu overneemt en dat de inhoud van de teller op de uitlezing verschijnt. Een nuttige functie van de uitlezingsomschakelaar kon in deze toepassing niet verzonnen worden. De RESET ligt via weerstand R2 aan de massa, maar kan "H" gemaakt worden door het indrukken van de RESET-schakelaar S1.
De segmentstromen worden begrensd door de voorschakelweerstanden R3 tot en met R9. De volledige kathodestroom van de uitlezingen wordt door middel van NPN-transistoren naar de massa geleid.

7.40 Universele drie decaden impulsteller



Figuur 4/7.40-2: Het volledig schema van de drie decaden teller.

Als de uitgang D2 positief wordt zal transistor T1 gaan geleiden. De gemeenschappelijke kathode van uitlezing Dy1 wordt met de massa verbonden. Het teller-IC zet op dat moment de code voor het cijfer dan in de derde teldecade zit op de segmentuitgangen, zodat dit cijfer op display Dy1 verschijnt.

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %

R1,R2	100 kΩ
R3,R4,R5,R6,R7,R8,R9	18 Ω

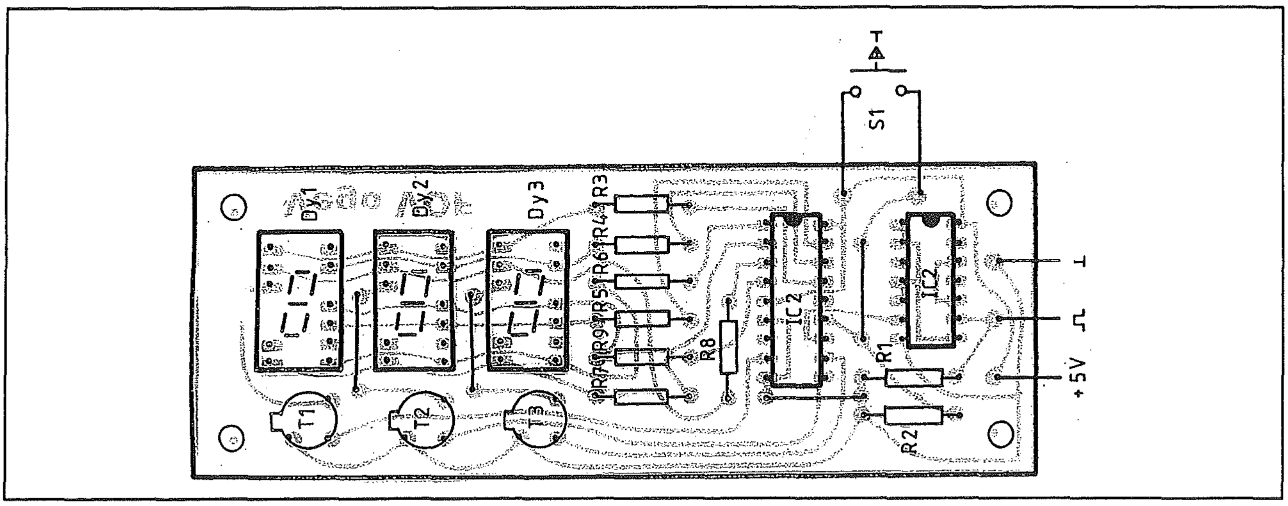
HALFGELEIDERS

T1,T2,T3	BC107
Dy1,Dy2,Dy3	HP7760
IC1	74LS13
IC2	74C928

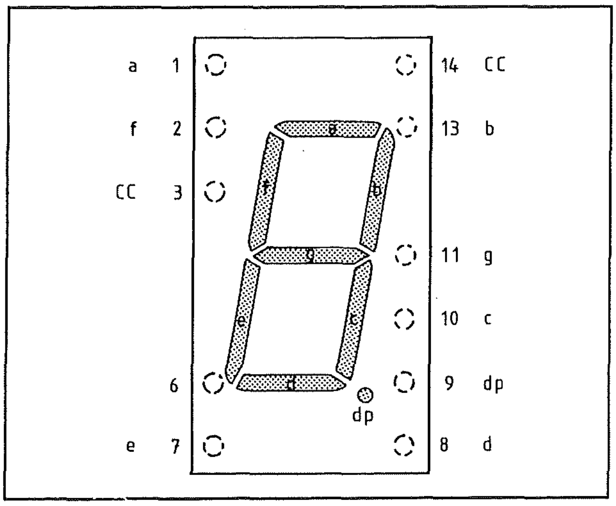
DIVERSEN

1	drukknop, MAAK
1	IC-voetje, 14 pennen
1	IC-voetje, 18 pennen
3	printsoldeerlipje

7.40 Universele drie decaden impulsteller



Figuur 4/7.40-4: De componentenopstelling van de schakeling.



Figuur 4/7.40-5: De aansluitgegevens van de toegepaste display's.

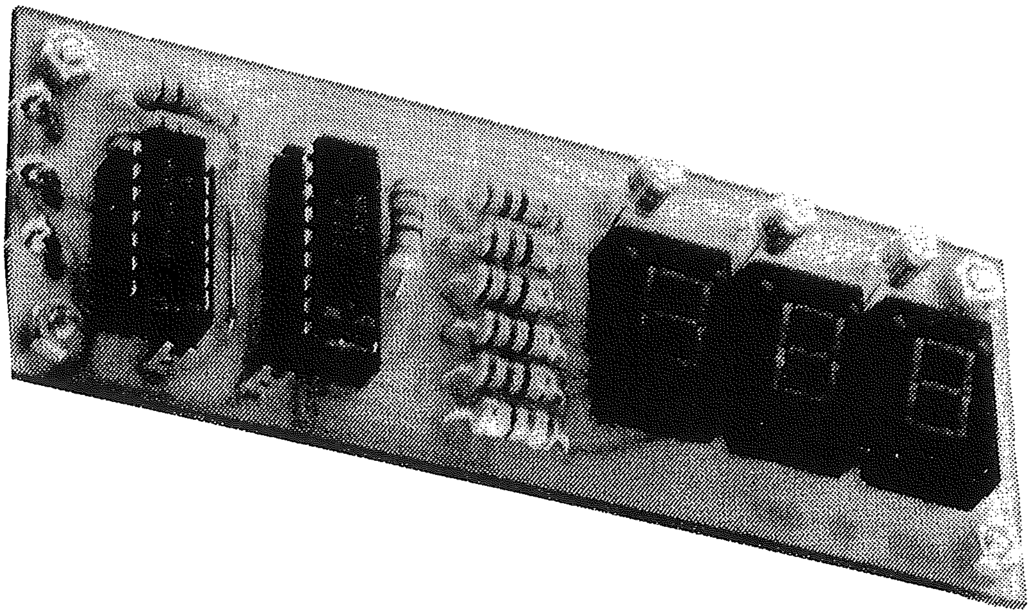
De bouw van de schakeling

Voor de teller is een printje ontworpen, zie figuur 4/7.40-3 op de laatste pagina van dit hoofdstuk. De aansluitingen voor de massa, de +5 V voeding en de ingang zijn netjes aan een zijkant van het printje toegankelijk. Figuur 4/7.40-4 verwijst de onderdelen naar hun plaats op de print. Zoals reeds geschreven moeten er zeven-segment uitlezingen met gemeenschappelijke kathode worden gebruikt. In het prototype werden HP-5082-7760 exemplaren van Hewlett-Packard ingezet. De aansluitgegevens van deze indicatoren zijn getekend in figuur 4/7.40-5. Dit is min of meer een standaard en er zijn talloze display's die aan deze aansluitcode voldoen. Figuur 4/7.40-6 geeft een impressie van de complete gemonteerde pulsteller.

De schakeling in de praktijk

De schakeling verbruikt gemiddeld 150 mA uit een +5 V voeding. Aan de ingang worden pulsen aangeboden op TTL-niveau. In rust moet deze ingang "L" zijn, bij het tellen van een puls moet deze spanning even "H" worden.

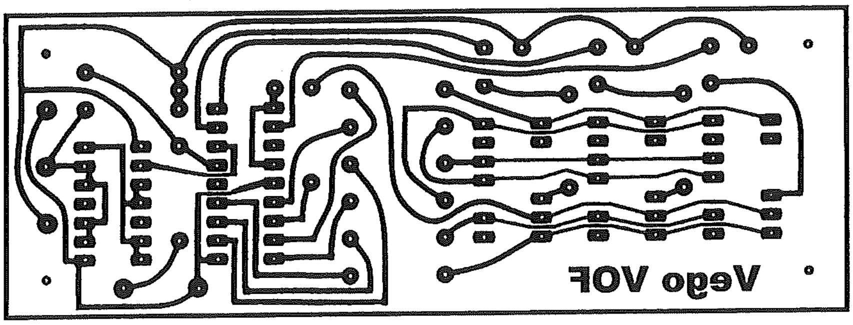
7.40 Universele drie decaden impulsteller



Figuur 4/7.40-6: De compleet gemonteerde print.

7.40 Universele drie decaden impulsteller

7.40 Universele drie decaden impulsteller



Figuur 4/7.40-3: De print voor de schakeling.

HOE MAAKT U DEZE PRINT?

OPTIE 1: zelf maken

U scant deze pagina en drukt deze met een inkjet-printer af op A4 formaat op transparante folie. U knipt de print uit en belicht er de fotogevoelige printplaat mee.

OPTIE 2: via Internet

U gaat naar **www.vego.nl/hobby/** en selecteert uit het hoofdmenu het hoofdstuknummer. U kunt nu de print als TIF-file downloaden. U opent deze file in een beeldbewerkingsprogramma en drukt deze met de op de Internet-pagina aangegeven afmetingen op transparante folie af. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

OPTIE 3: GRATIS bestellen

U stuurt een **ONGEFRANKEERD** briefje naar Vego VOF, Antwoordnummer 30020, 6374 ED Landgraaf, met vermelding van het hoofdstuknummer. U krijgt per kerende post het printontwerpje op transparante folie **GRATIS** toegestuurd. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

4/7.41

Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur

Inleiding

Bekijk de vervorming van audioversterkers

Een vervormings-analyzer is geen meetinstrument in de strikte zin van het woord. De analyzer is een filter, dat de zuivere sinus uit een sinusvormig ingangssignaal verwijdert, waardoor de vervorming (de harmonischen) overblijft. Op de uitgang wordt een oscilloscoop aangesloten en zo kan de vervorming worden bekeken. De in dit hoofdstuk beschreven analyzer kan gemakkelijk vervormingen tot 0,01 % laten zien en met de optionele extra-fijn regeling tot zelfs minder dan 0,005 %. De analyzer is gemakkelijk in gebruik en is bovendien voor betrekkelijk weinig geld te bouwen.

Het principe

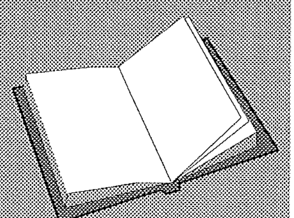
Als aan de ingang van een versterker een zuiver sinusvormig signaal wordt aangeboden, dan zal het signaal aan de uitgang minder zuiver zijn. Het bevat zogenoemde harmonischen, signalen met een veelvoud van de frequentie van het zuiver sinusvormig signaal. Dat wordt veroorzaakt door de overdrachtskarakteristiek van de versterker, die geen absoluut rechte lijn is. Een bijkomend gevolg van deze niet-lineariteit is, dat er mengproducten kunnen ontstaan: intermodulatie vervorming.

Om de vervorming "in beeld te krijgen" is allereerst een sinusgenerator nodig, die een signaal van zeer grote zuiverheid afgeeft. Een "gewone" sinusgenerator is niet geschikt, de vervorming ervan is te groot en een functiegenerator is totaal ongeschikt. Onze Thurlby Thandar TG230 heeft bijvoorbeeld een sinusvervorming van circa 0,4 %.

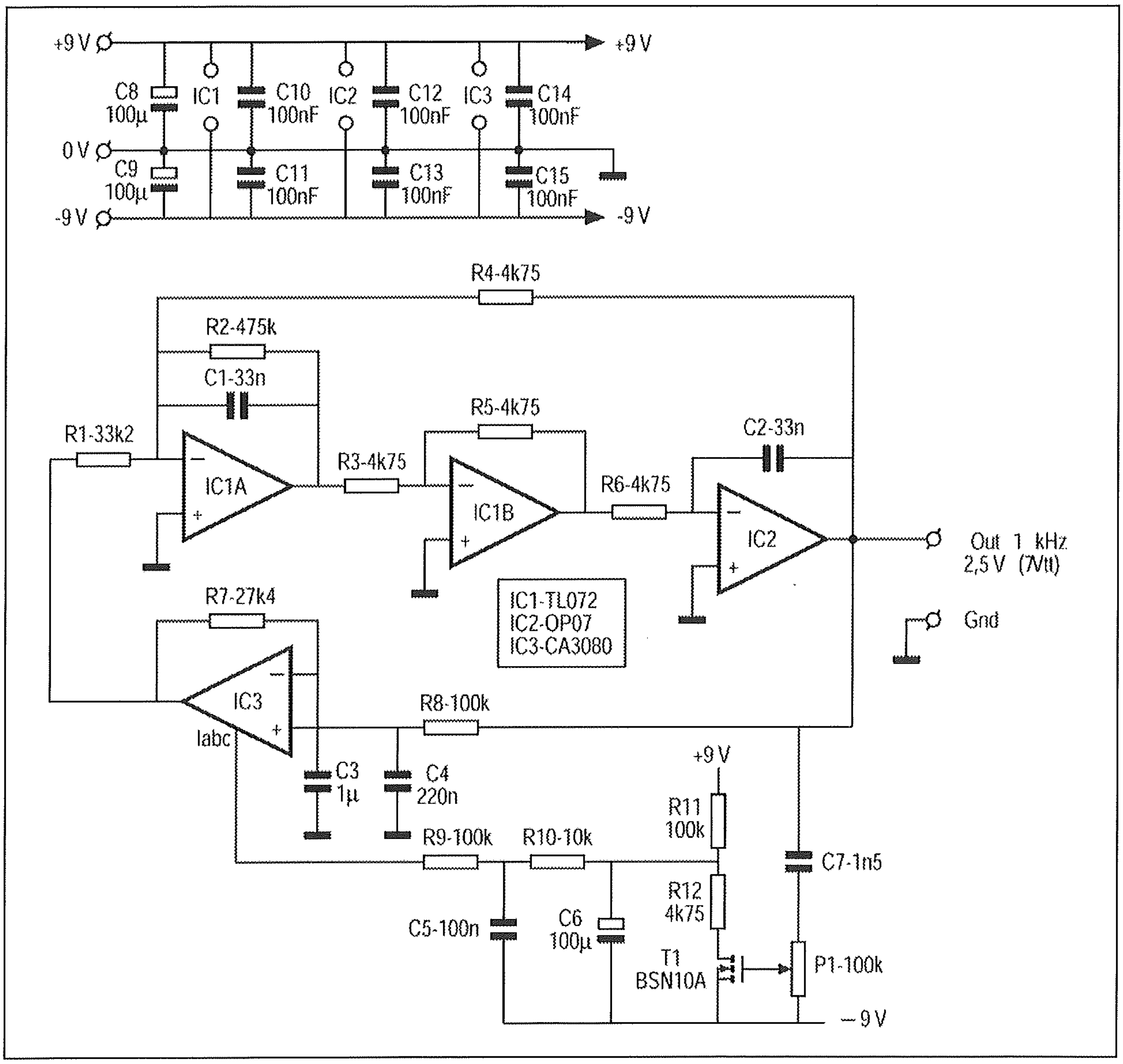
Om de problemen die verband houden met voeding vanuit het net bij voorbaat uit te sluiten, is gekozen voor batterijvoeding en wel door twee 9 V blokbatterijen voor zowel de sinusgenerator als de vervormings-analyzer. Een verdere vereenvoudiging is bereikt, door de analyzer te beperken tot vijf audiobereiken en de sinusgenerator op een vaste frequentie te laten werken.

LEES OOK:

Hoofdstuk 3/12.7
Hoofdstuk 3/12.10



7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur



Figuur 4/7.41-1: Het volledig schema van de sinusgenerator.

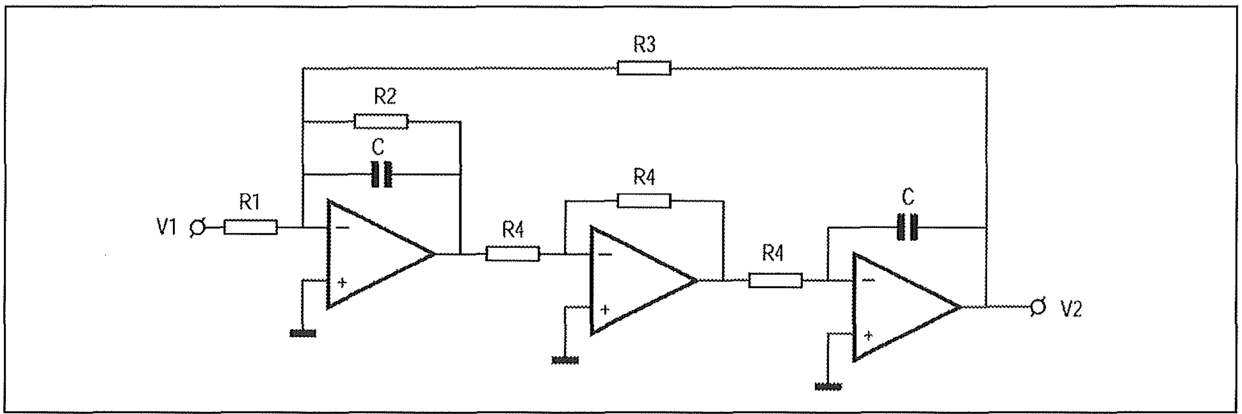
De sinusgenerator

De 1 kHz sinusgenerator

In figuur 4/7.41-1 is het volledig schema van de 1 kHz sinusgenerator te zien. Het belangrijkste deel ervan is het "biquad actieve banddoorlaat filter". Het bestaat uit IC1A, IC1B, IC2, R1/R6 en C1 en C2. Het is een heel scherp filter, de kwaliteitsfactor Q bedraagt circa 100.

De uitgang van het filter gaat via een laagdoorlaat verzwakker naar de niet-inverterende ingang van IC3. Dat is een OTA (Operational Transconductance Amplifier). R7 en C3 dienen voor de gelijkstroominstelling. De versterking van de OTA kan worden ingesteld met de stroom op ingang I_{abc}. De uitgang van de OTA is verbonden met de ingang van het biquad filter.

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur



Figuur 4/7.41-2: De algemene schakeling van het toegepast filter.

Ingang I_{abc} is te vergelijken met een diode, die in doorlaatrichting aan de negatieve voedingsspanning ligt. Als de oscillator wordt aangezet, gebeurt er in eerste instantie niets. Via R11 wordt elco C6 langzaam opgeladen en neemt de spanning over C5 toe. De toenemende spanning over R9 zorgt ervoor dat (vanaf circa 0,6 V) de stroom op I_{abc} toeneemt en de versterking van de OTA wordt groter.
Als de totale versterking voldoende groot is, start de generator (door de steeds aanwezige breedbandige ruis) op de frequentie van het filter. De gate van de MOSFET (T1) is via P1/C7 verbonden met de uitgang en tijdens de positieve sinushelften gaat de MOSFET geleiden. Dan wordt via R12 elco C6 ontladen, de spanning over de elco zakt en de versterking van de OTA neemt af. Er ontstaat een evenwicht, waarbij de amplitude van het uitgangssignaal constant blijft. De stabilisatie is het beste als P1 ongeveer in de middenstand staat voor een uitgangsspanning van 2,5 V_{eff}.
Het is vrij eenvoudig om de generator op een andere frequentie in te stellen. Als richtlijn geldt, dat voor een verdubbeling van de frequentie de waarden van alle condensatoren moet worden gehalveerd.

Het biquad banddoorlaat filter
Omdat een dergelijk filter zulke goede resultaten geeft en omdat het vrij onbekend is, wordt wat dieper op de opmerkelijke eigenschappen ingegaan. Het actieve filter dat in deze 1 kHz sinusgenerator wordt toegepast is nog eens getekend in figuur 4/7.41-2 en is een zogenoemd biquad banddoorlaat actief filter.
Het is afkomstig uit "The active filter handbook" door Frank Tedeschi (TAB books, ISBN 0-8306-1133-9), waarin een groot aantal actieve filters wordt behandeld. Hij schrijft over dit type filter: *"Het filter is opgebouwd uit twee integratoren en een inverter. De grondfrequentie kan simpelweg worden afgeregeld door R3 aan te passen. De Q kan worden aangepast door R2 te veranderen en de versterking van de schakeling kan met R1 worden ingesteld. Met de biquad schakeling kunnen Q-factoren van meer dan 100 worden bereikt en het is een vrij stabiele schakeling".*
De overdrachtsfunctie van het filter heeft de volgende algemene vorm:

$$\frac{V2}{V1} = \frac{K\omega_0 s/Q}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2}$$

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur

De constanten van deze transferfunctie zijn door de volgende vergelijkingen gekoppeld met de passieve componenten van de schakeling:

$$R1 = \frac{Q}{K\,\omega o\,C}$$

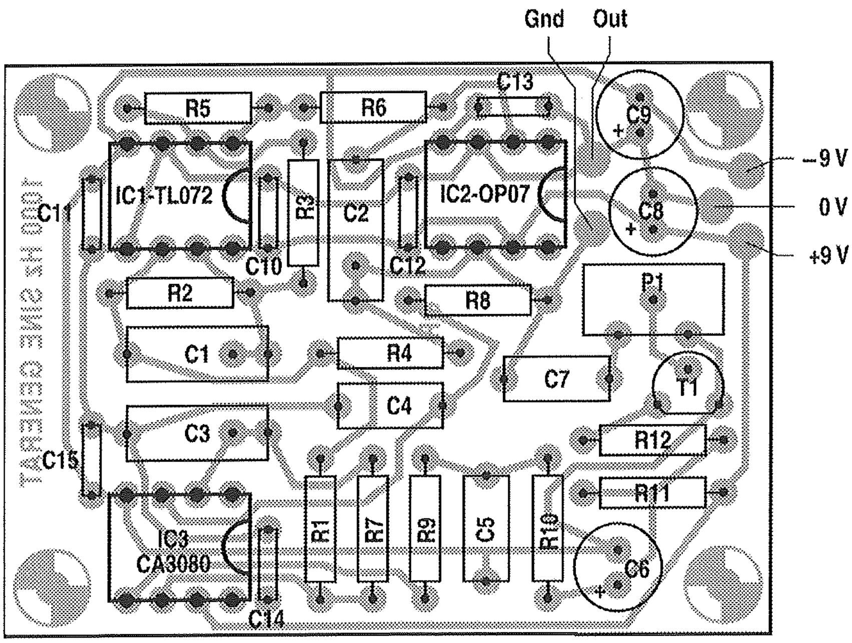
$$R2 = \frac{Q}{\omega o\,C}$$

$$R3 = \frac{1}{\omega o^2\,R4\,C^2}$$

Deze vergelijkingen kunnen worden vereenvoudigd door ω_0 = 1 rad/s, C = 1 F en R4 = 1 Ω te maken. De genormaliseerde vergelijkingen worden dan:
R1 = Q/K, R2 = Q, R3 = 1 Ω
Voor onze 1 kHz generator kiezen we:
fg = 1.000 Hz, Q = 100, K = 14
hieruit volgt:
R1 = 7 Ω, R2 = 100 Ω, R3 = 1 Ω.

De volgende stap is het "denormaliseren" van de waarden 1 rad/sec naar 1.000 Hz voor de condensatoren en het bepalen van praktisch bruikbare componentenwaarden:
1.000 Hz = 6.280 rad/sec
C = 1 F/6.280 = 159.200 nF
De waarden voor R1, R2, R3 en C zijn niet praktisch, we kiezen C = 33 nF en vermenigvuldigen de weerstandswaarden met 159.200 nF/33 nF = 4.824 en kiezen dan uit de E96 reeks 1 % weerstandswaarden:
R1 = 33,2 kΩ
R2 = 475 kΩ
R3 = 4,75 kΩ
C = 33 nF

De bouw van de sinusoscillator
In figuur 4/7.41-3, op de voorlaatste pagina van dit hoofdstuk, is de print voor de generator voorgesteld. In figuur 4/7.41-4 is de onderdelenopstelling te zien.



Figuur 4/7.41-4: De componentenopstelling van de sinusoscillator.

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur

ONDERDELENLIJST SINUSGENERATOR

WEERSTANDEN, 1 %, 1/4 W, METAALFILM

R1	33,2 kΩ
R2	475 kΩ
R3,R4,R5,R6,R12	4,75 kΩ
R7	27,4 kΩ
R8,R9,R11	100 kΩ
R10	10 kΩ

INSTELPOTENTIOMETER, 10 mm STAAND

P1	100 kΩ

CONDENSATOREN

C1,C2	33 nF	polycarbonaat RM 7,5 of 10
C3	1 µF	RM 7,5 of 10
C4	220 nF	RM 7,5
C5	100 nF	RM 7,5
C6,C8,C9	100 µF	10 V printelco
C7	1,5 nF	RM 7,5
C10/C15	100 nF	50 V multilayer RM 5

HALFGELEIDERS

T1	BSN10A
IC1	TL072CP
IC2	OP07DP
IC3	CA3080E

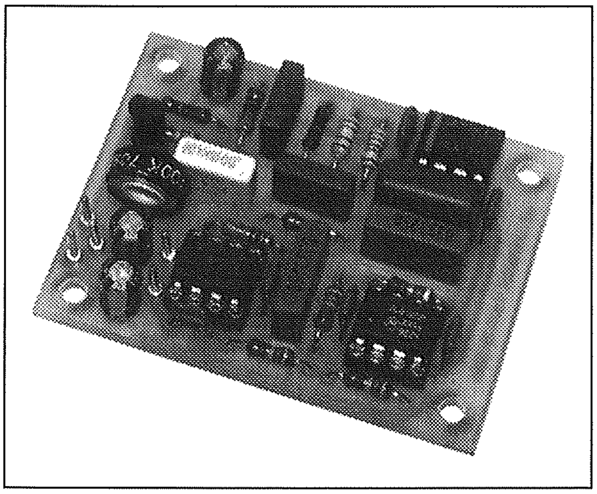
DIVERSEN

1	potentiometer, 5 kΩ, draadgewonden
1	knop voor potentiometer
1	tulp (cinch) chassisdeel
1	schuifschakelaar 2xOM, klein model
3	IC-voetje, 8 pennen
2	batterijclip 9 V blokbatterij
2	blokbatterij 9 V
1	kastje Teko B2
5	printpennen 1 mm met schuifconnectors

De bouw is een simpel klusje dat hooguit een half uur kost. Neem voor C1 en C2 bij voorkeur polycarbonaat condensatoren, die zijn heel stabiel en monteer T1 nog niet op de print, maar via draadeinden.
De foto van figuur 4/7.41-5 geeft een impressie van de compleet gemonteerde sinusgenerator.

De drempelspanning van de BSN10A kan variëren, waardoor het nodig kan zijn een ander exemplaar te kiezen om P1 ongeveer in de middenstand te kunnen zetten. Gebruik geen BSN10, die heeft andere aansluitingen.
Met wat passen en meten past de schakeling, samen met twee 9 V blokbatterijen, de aan/uit-schakelaar, de 5 kΩ draadgewonden volumeregelaar en een tulp

chassisconnector in een metalen kastje Teko B2. Het enige verbindingspunt van de schakeling met het metalen kastje is de tulpconnector.



Figuur 4/7.41-5: De sinusgenerator is klaar voor inbouw in het metalen kastje.

Gegevens prototype sinusgenerator

- uitgangsfrequentie:
  971 Hz
- uitgangsspanning:
  2,5 V_{eff} max.
- vervorming:
  0,0048 %, gemeten door Audio Electronic Matijsen met Audio Precision System One (www.aem.nl)
- voeding:
  2 x 9 V blokbatterij
- stroomverbruik:
  7 mA

De vervormings-analyser

Het principe

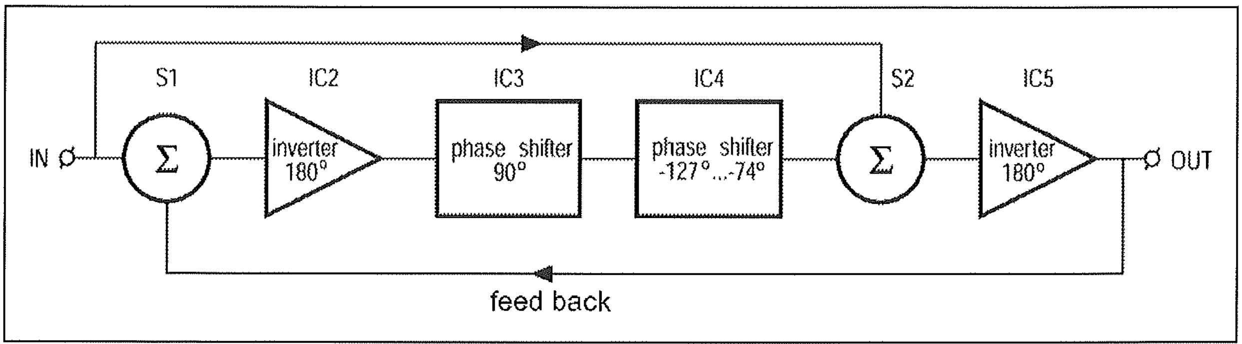
Het verwijderen van de grondgolf uit een signaal is geen sinecure. Ga maar na, het ingangssignaal is 100 %, dus om een vervorming van 0,01 % te meten moet de grondgolf meer dan 10.000 maal worden verzwakt. Dat is 80 dB! Met een "opgevoerd" dubbel T-filter is dat in principe mogelijk, maar een heel lastig probleem is dat het filter afstembaar moet zijn. De frequentie van het testsignaal ligt immers niet vast.

Het kan ook anders, maar daarvoor is het nodig om een zijsprongetje te maken. Het belangrijkste kenmerk van een digitale signaal processor (DSP) is dat er allerlei soorten filters mee gemaakt kunnen worden. In zijn eenvoudigste vorm bestaat zo'n filter uit een vertragingslijn en een accumulator. De uitgang van de vertragingslijn is verbonden met de accumulator. Bij iedere klokslag wordt een sample van het (analoge) ingangssignaal in de vertragingslijn en in de accumulator gezet. Als dit signaal nu sinusvormig is én de vertragingstijd is precies gelijk aan de halve periodetijd, dan zijn de signalen in de accumulator in tegenfase en heffen elkaar op. In dit geval is er dus sprake van een sperfilter.

In een DSP kan de vertragingslijn met "tap's" worden uitgerust en van iedere tap kan een fractie naar de accumulator worden gestuurd. Het aantal tap's en de grootte van de fracties bepalen het type en het gedrag van het betreffende filter. Zo'n filter wordt een FIR-filter (finite impuls response) genoemd omdat, als het ingangssignaal wegvalt, ook het uitgangssignaal uitsterft. Het is mogelijk om over het filter tegenkoppeling aan te brengen. Dan is er sprake van een (steiler) IIR-filter (infinite response filter), het uitgangssignaal sterft dan niet uit.

Het is heel goed mogelijk om een IIR-filter op analoge wijze op te bouwen en dit is de strategie die voor de vervormings-analyzer is toegepast. In plaats van een digitale vertragingslijn is een analoge vertragingslijn gebruikt.

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur

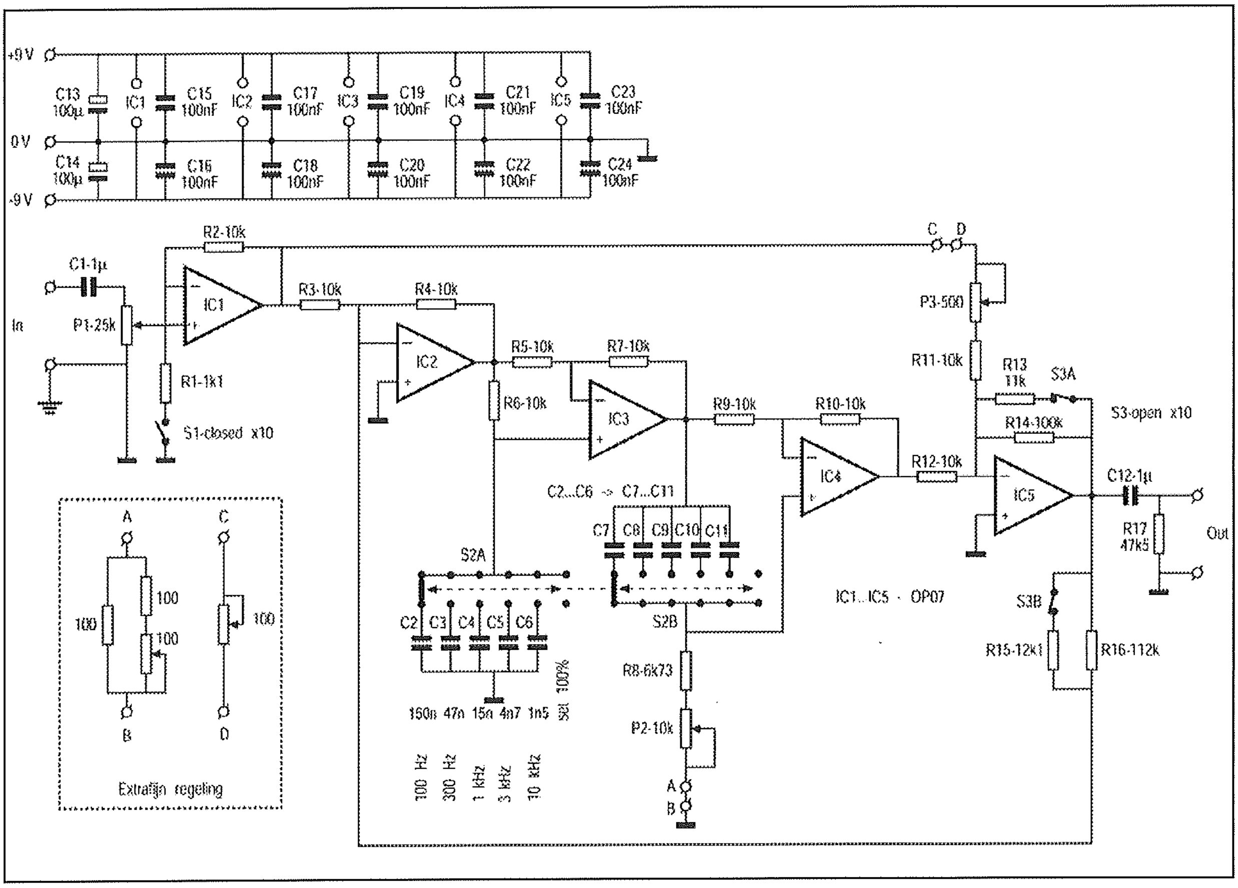


Figuur 4/7.41-6: Het principe van het "analoge" IIR-filter.

Gebruikelijk is dan om van faseverschuiver te spreken. In figuur 4/7.41-6 is het principe te zien. Het ingangssignaal gaat enerzijds via optelschakeling S1 naar een inverter, die de fase 180° verschuift en anderzijds naar optelschakeling S2. Achter de inverter zijn twee faseverschuivers opgenomen, de eerste met een vaste verschuiving van 90°, de tweede met een instelbare verschuiving van -127° tot -74°. Vervolgens wordt het in fase verschoven signaal in optelschakeling S2 gesommeerd met het ingangssignaal.
De variabele faseverschuiver wordt zo ingesteld dat de faseverschuiving precies 0° is. De signalen op S2 zijn dan tegengesteld in fase en amplitude en heffen elkaar op. Door via een inverter een deel van het uitgangssignaal terug te voeren naar de ingang door middel van optelschakeling S1 krijgt het systeem de eigenschappen van een IIR-filter. De mate van "feedback" (terugkoppeling) bepaalt de scherpte van het filter. Als de feedback te groot is, gaat de schakeling oscilleren (motorboten).
De faseverschuivers zijn heel eenvoudige schakelingen, ze bestaan in principe uit maar één op-amp, één condensator en drie weerstanden. De optelschakelingen kunnen met de inverters worden gecombineerd als normale op-amp sommeerversterkers.

De praktische schakeling
In figuur 4/7.41-7 is de complete schakeling van de vervormings-analyzer te zien. Met potentiometer P1 kan de sterkte van het ingangssignaal worden aangepast zodat de op-amp's niet vastlopen. IC1 is een buffer/versterker; met S1 kan de versterking op 1x of 10x worden geschakeld. De 10x stand kan nodig zijn bij zwakke ingangssignalen. Het uitgangssignaal gaat enerzijds naar inverter IC2 en anderzijds naar het sommeerpunt van IC5. IC3 is de vaste faseverschuiver van 90°. Met S1 kan een van vijf frequenties worden ingesteld. IC4 is de variabele faseverschuiver. In principe is die gelijk aan de vaste faseverschuiver maar de condensator en weerstand zijn van plaats verwisseld om de potentiometer aan één zijde te kunnen aarden. De uitgang van faseverschuiver 2 is via R12 verbonden met de ingang van de sommeerversterker IC5 waarop ook het ingangssignaal is aangesloten (via P3 en R11). Met S3 kan de versterking van de sommeerversterker op 1x of 10x worden ingesteld. Omdat het uitgangssignaal tevens als feedback wordt gebruikt wordt in de stand 1x de feedback weerstand aangepast (S3B).
Het is mogelijk om vervormingen kleiner dan 0,005 % op het scherm zichtbaar te maken.

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur



Figuur 4/7.41-7: Het schema van de analyser.

Maar dan moeten tussen de punten A-B en C-D de extra-fijn regelingen worden opgenomen. Deze zijn niet op de print opgenomen en moeten apart worden ingebouwd.
De hele schakeling is opgebouwd met op-amp's van het type OP07. Deze hebben een lage ruis, heel lage offset en weinig vervorming.

De bouw van de analyser

In figuur 4/7.41-8, op de voorlaatste pagina van dit hoofdstuk, is de print lay-out getekend. Figuur 4/7.41-9 geeft de onderdelenopstelling van de vervormings-analyzer. De bouw is vrij eenvoudig omdat vrijwel alles op of onder de print komt.

S1, S2 en S3 komen aan de onderdelenkant van de print. S1 en S2 worden met lange schroeven M2 (of draadstukken) en afstandbussen 16 mm lang (messing buisjes) op de print vastgezet. De bovenzijden blijven dan onder de "kraag" van S2.
P1, P2 en P3 komen aan de soldeerkant van de print. De grote ronde kopervlakken zijn eerst vertind en er zijn borgringen gebruikt om de potentiometer lichamen zeker te aarden. Figuur 4/7.41-10 geeft een impressie van de compleet gemonteerde print.

Van 6,3 mm naar 6 mm as

De tienslagen potentiometer heeft een as van 6,3 mm maar de gebruikte knop-

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur

ONDERDELENLIJST VERVORMINGS-ANALYZER

WEERSTANDEN, 1 %, 1/4 W, METAALFILM

R1	11,1 kΩ
R2/R7,R9/R12	10 kΩ
R8	6,73 kΩ
R13	11 kΩ
R14	100 kΩ
R15	12,1 kΩ
R16	112 kΩ
R17	47,5 kΩ

POTENTIOMETERS

P1	25 kΩ	potmeter lineair
P2	10 kΩ	tienslagen potmeter
P3	500 Ω	potmeter lineair

CONDENSATOREN

C1,C12	1 µF	
C2,C7	150 nF	Wima MKS4 (evt. MKH)
C3,C8	47 nF	Wima MKS4 (evt. MKH)
C4,C9	15 nF	Wima MKS4 (evt. MKH)
C5,C10	4,7 nF	Wima MKS4 (evt. MKH)
C6,C11	1,5 nF	Wima MKS4 (evt. MKH)
C13,C14	100 µF	10 V elco staand RM 2,5
C15,C17,C19,C21,C23	100 nF	50 V multilayer RM 5
C16,C18,C20,C22,C24	100 nF	50 V multilayer RM 2,5

HALFGELEIDERS

IC1/IC5	OP07DP

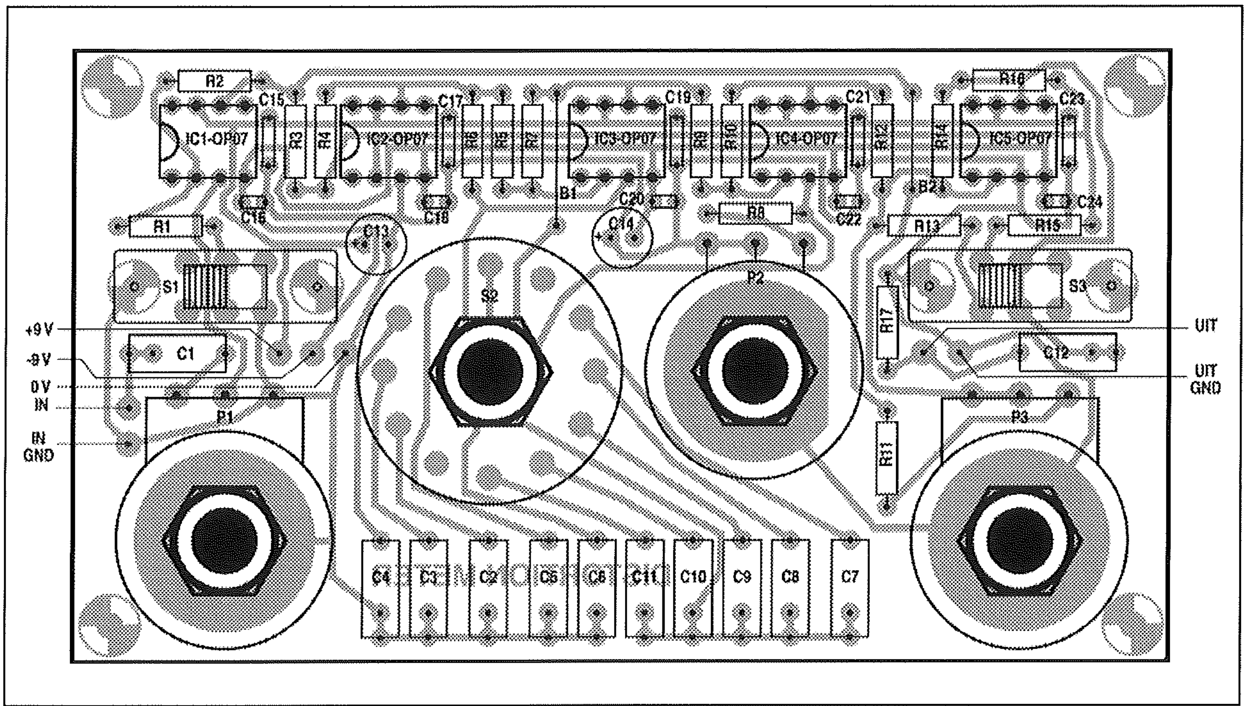
DIVERSEN

S1,S3	23 mm schuifschakelaar 2xOM, Display nr 03.49.101
S2	Lorlin draaischakelaar 6 standen 2 MC, verbreek voor maak
5	IC-voetje, 8 pennen
7	printpennen 1 mm met schuifconnectors
1	tulp (cinch) chassisdeel
1	stekerbus (banaan) zwart
1	stekerbus (banaan) rood
1	35 mm schuifschakelaar 2xOM (aan/uit)
2	batterijclip voor 9 V blokbatterij
2	9 V blokbatterij
4	knop 15 mm, Display nr. 03.70.615ZW
4	knopdeksel 15 mm met streep, Display nr. 03.71.315ZW
1	lessenaarkast Teko 362

UITBREIDING EXTRA-FIJN REGELING

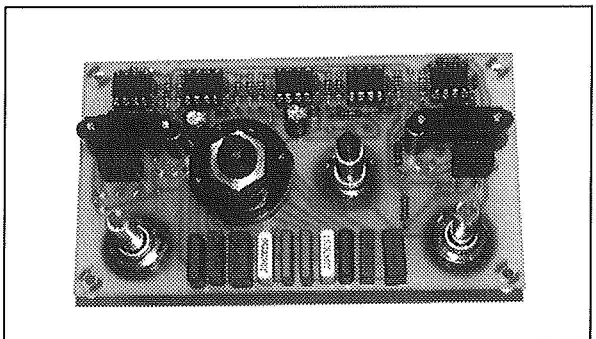
2	potmeter 100 Ω, Conrad best.nr. 445606
2	weerstand 100 Ω, 1 % metaalfilm, 1/4 W
2	knop 20 mm, Display nr. 03.70.621ZW
2	knopdeksel 20 mm, Display nr. 03.71.321ZW

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur



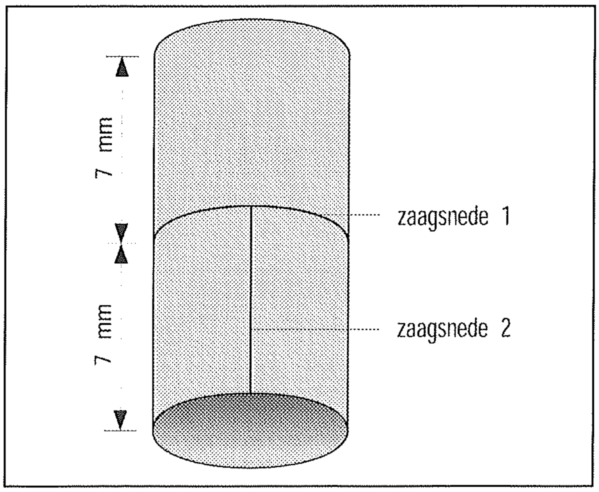
Figuur 4/7.41-9: De componentenopstelling van de analyser.

pen zijn voor assen van 6 mm. Uit een messing buisje met een binnendiameter van 6,1 mm (b.v. Conrad 293148) is op simpele wijze een verloopkoppeling te maken, zie figuur 4/7.41-11.



Figuur 4/7.41-10: De compleet gemonteerde print.

Zaag van de buis een stuk af met een lengte van 14 mm. Werk de einden netjes af en maak er twee zaagsnedes in volgens de figuur. Zaagsnede 1 gaat over 2/3 van de buis. Om een afgezaag-de 6 mm potentiometer as wordt een strook sigarettenvloeipapier gewikkeld, waarna dit in de bovenhelft van het koppelstuk wordt gedrukt. Door de zaagsnedes past het koppelstuk klemmend op de 6,3 mm potentiometer as. De as moet iets worden ingekort.

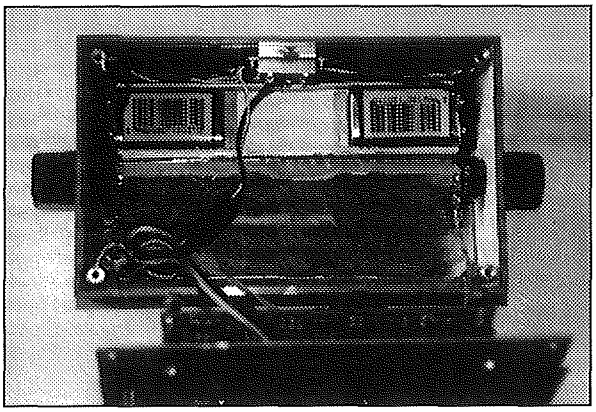


Figuur 4/7.41-11: Passend maken van de as van de potentiometer.

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur

Inbouw in de behuizing

Met wat passen en meten past alles in het fraaie Teko lessenaar kastje. De print is met afstandstukken 15 mm (binnen en buitendraad M3) tegen de frontplaat bevestigd. Met moeren op de buitendraad is de afstand tussen de bovenkant van de print en de onderkant van de frontplaat op 18 mm ingesteld. De twee 9 V blokbatterijen liggen in een, van 1 mm dik ABS gemaakt, U-vormig gootje, dat met secondenlijm horizontaal in de achter/onderkant van het kastje is gelijmd. Door de hoogte van de tienslagen potmeter ligt de frontplaat niet op de "staanders", maar iets hoger, namelijk in lijn met de kast-bovenrand.

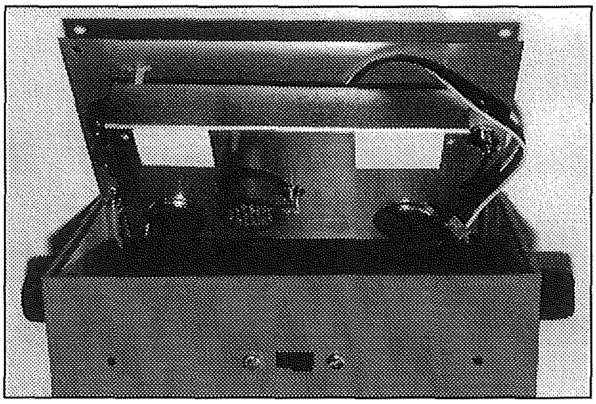


Figuur 4/7.41-12: Een kijkje in het kastje van het prototype.

In het prototype is aan de onderzijde van de print een afschermplaatje aangebracht van dun aluminium met opstaande randen, zie figuur 4/7.41-13. Door dit plaatje worden tevens de batterijen in hun "compartimenten" gehouden.

De extra-fijn regelingen

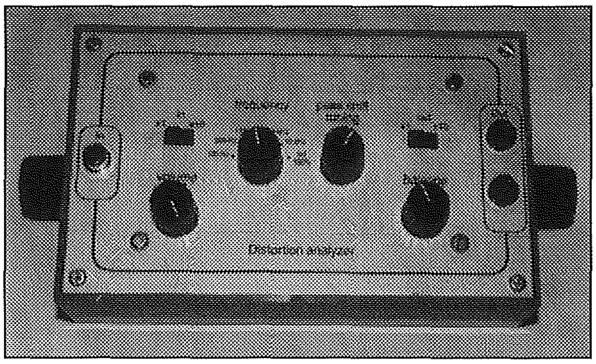
De extra-fijn regelingen kunnen in de zijkanten van de behuizing worden gemonteerd. Dat is bij het proefmodel gedaan en tevens zijn tegen de zijkanten en onderkant geaarde stroken messing folie geplakt. Het enige verbindingspunt van de schakeling met de metalen kastdelen is het aardpunt van het tulp chassisdeel.



Figuur 4/7.41-13: Over de onderkant van de print is een aluminium afschermplaatje gemonteerd.

Frontplaatje

Voor wie het geheel professioneel wil afwerken is in figuur 4/7.41-14 (zie laatste pagina) een ontwerp van het frontplaatje gegeven. Men kan dit ontwerp op transparante folie kopiëren of downloaden van onze internetsite www.hobby-elektronica.nu. Nadien kan men op de bekende manier een stuk zelfklevende fotogevoelige Alu-folie belichten en ontwikkelen. Figuur 4/7.41-15 geeft een impressie van het resultaat.



Figuur 4/7.41-15: Het eindresultaat.

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur

Gegevens vervormings-analyzer

- weergave op oscilloscoop:
  tot 0,01 %
- met extra-fijn regeling:
  tot 0,005 %
- ingangsspanning met volume max. x1:
  4 V_{eff}
- ingangsspanning met ingangsversterker x10:
  400 mV_{eff}
- vervormingsuitgangsspanning:
  x1 of x10
- vangbereik 100 Hz:
  88 Hz - 130 Hz
- vangbereik 300 Hz:
  260 Hz - 380 Hz
- vangbereik 1 kHz:
  880 Hz - 1,4 kHz
- vangbereik 3 kHz:
  2,5 kHz - 3,8 kHz
- vangbereik 10 kHz:
  8 kHz - 11,5 kHz
- voeding:
  2 blokbatterijen 9 V
- stroomopname:
  11 mA

Afregeling

De sommeerweerstanden R11 en R12 hebben een tolerantie van 1 %. Als bij toeval R11 dan 9,9 kΩ is en R12 10,1 kΩ, dan zou met P3 theoretisch het verschil kunnen worden uitgebalanceerd. Eenvoudiger is het echter, om parallel aan R11 of R12 aan de soldeerkant van de print een weerstand te monteren. Bij het proefmodel moest dat 499 kΩ parallel aan R11 zijn. De stand van P3 voor een perfecte balans verschilt per bereik, maar het is met een toongenerator vrij gemakkelijk om een waarde te vinden, waarmee op alle bereiken de balans kan worden ingesteld.

Gebruik van de analyzer

Inleiding

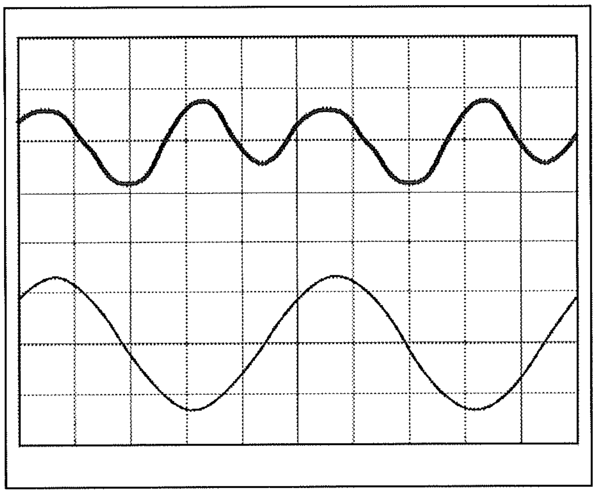
De sinusgenerator wordt verbonden met de ingang van de te onderzoeken versterker. De analyser komt op de uitgang. De "out" van de analyser gaat naar een oscilloscoop.
Met S2 in de stand "set 100 %" worden P1 en de oscilloscoop zo ingesteld dat twee volledige sinussen met een top-tot-top waarde van 7 V zijn te zien (met "lege" batterijen zal dat niet lukken). De scoop moet worden gesynchroniseerd met het ingangssignaal van de analyzer. Zet nu S2 op het gekozen frequentiebereik en verdraai P2 en P3, tot de amplitude van het signaal op de scoop zo klein mogelijk is. Zet S3 in de stand 10x en regel P2 en P3 bij tot de amplitude weer zo klein mogelijk is. Wat nu op de scoop is te zien, is de vervorming. Als die min of meer sinusvormig is, kan het percentage gemakkelijk worden bepaald. We weten dat 7 V top-tot-top 100 % is. Stel dat de top-tot-top waarde van de vervorming 20 mV is, dan is de werkelijke waarde 10x kleiner (2 mV) en de vervorming is:
2/7.000 x 100 % = 0,03 %.
Het is gebruikelijk om voor de vervorming de gemiddelde waarde van het signaal te meten, in dit geval betreft het een sinusvorm en kunnen zonder bezwaar de top-tot-top waarden worden gebruikt. Bij een vervorming die erg afwijkt van een sinus zal een schatting moeten worden gemaakt van de gemiddelde spanning, waarbij dan de gemiddelde waarde van het sinussignaal is:
2/3,14 x amplitude.
Gebruik van een digitale meter om de vervorming te meten is mogelijk als het frequentiebereik van de meter voldoen-

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur

de hoog is. Wel moet men er rekening mee houden dat deze meters meestal de effectieve spanningswaarde meten.

Voorbeeld 1:
buizenvoorversterker met trioden

In figuur 4/7.41-16 zien we een beeldscherm afbeelding van een oscilloscoop. Het onderste signaal is het uitgangssignaal van een buizenvoorversterker met trioden, het bovenste is het uitgangssignaal van de vervormings-analyzer. Belangrijk is dat op het scherm een heel aantal sinussen is te zien. De versterker wordt gevoed met een heel zuiver sinussignaal van ongeveer 1.000 Hz. Heel kenmerkend is dat het uitgangssignaal van de vervormings-analyzer tweede harmonischen bevat, iets dat typisch voor trioden is.

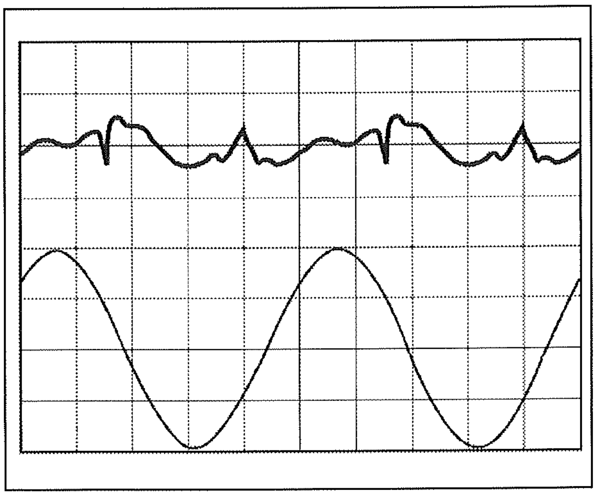


Figuur 4/7.41-16: De vervorming van een triode voorversterker.

Omdat dit signaal redelijk sinusvormig is, kan de grootte van de vervorming gemakkelijk worden bepaald. De gevoeligheid van het onderste kanaal is 0,5 V/schaaldeel, de top-tot-top waarde bedraagt 1.260 mV. De gemiddelde top-tot-top waarde van het bovenste signaal is gemakkelijk te schatten, dat is ruwweg 16 mV, want de gevoeligheid van dat kanaal is 10 mV/schaaldeel. De uitgangsversterker van de vervormingsanalyzer was ingesteld op x10, dus de ware top-tot-top spanning bedraagt 1,6 mV. De harmonische vervorming is:
1,6 mV/1.260 mV x 100 % = 0,13 %.
Strikt genomen zouden we de vervorming van de 1.000 Hz sinusgenerator in de berekening mee moeten nemen, maar omdat die van een andere grootte-orde is, is de invloed daarvan verwaarloosbaar.

Voorbeeld 2: 1.000 Hz sinusgenerator

In figuur 4/7.41-17 zien we onder het uitgangssignaal van de 1 kHz sinusgenerator en boven het signaal uit de vervormings-analyzer.



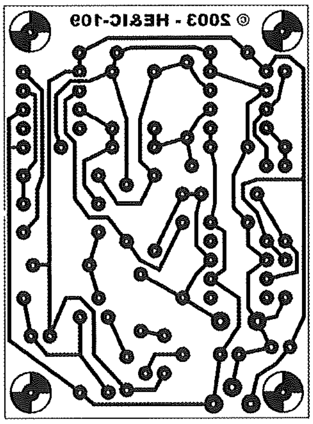
Figuur 4/7.41-17: De eigen vervorming van de sinusgenerator gemeten met de analyser.

Omdat de vervorming zo klein is, was het nodig om de extra-fijn regeling in te bouwen en zelfs daarmee blijft het "jongleren" met de knoppen om de vervorming steeds zo klein mogelijk te houden. Iedere minieme verandering van bij-

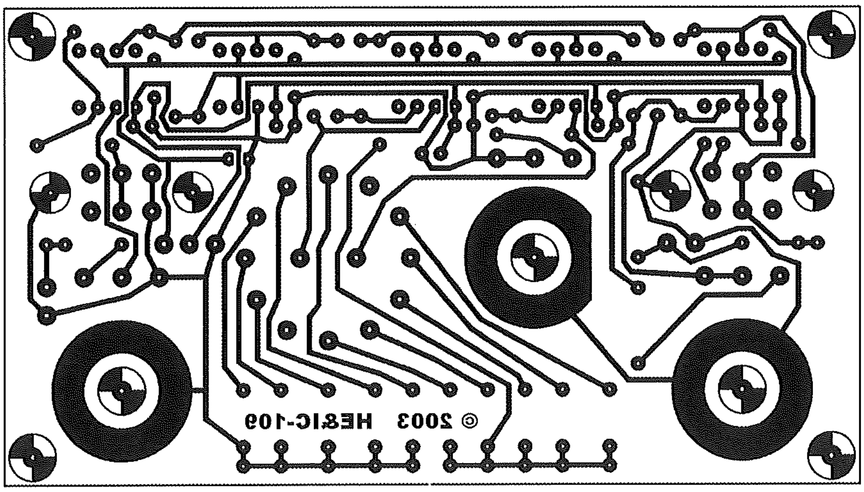
voorbeeld de temperatuur heeft invloed en zelfs tijdens het maken van de foto is de vervorming op het beeldscherm weer groter geworden. Het is mogelijk om de instelling zo te krijgen, dat er een bijna rechte lijn overblijft met daarop alleen de pieken en de dalen. Het is niet mogelijk om de vervorming te meten, wel kunnen we een schatting maken. De grootte van het ingangssignaal is circa 8 V top-tot-top, dat is 2,5 V gemiddeld. Als we nu in gedachten de oppervlakken van de pieken en dalen in een rechthoek zouden doen, ter breedte van het scherm, hoe hoog zou die rechthoek dan zijn? We gokken op een kwart schaaldeel. Ook hier is de totale gevoeligheid van het bovenste kanaal 1 mV/schaaldeel. De harmonische vervorming bedraagt dan:
0,25/2.500 x 100 % = 0,01 %.
Onze schatting bleek vrij goed te zijn, want een meting met een zéér professionele analyzer van Audio Precision gaf 0,0047 %.

Bob Stuurman

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur



Figuur 4/7.41-3: De print van de sinusgenerator.



Figuur 4/7.41-8: De print van de vervormings-analyzer.

HOE MAAKT U DEZE PRINTEN?

OPTIE 1: zelf maken

U scant deze pagina en drukt deze met een inkjet-printer af op A4 formaat op transparante folie. U knipt de print uit en belicht er de fotogevoelige printplaat mee.

OPTIE 2: via Internet

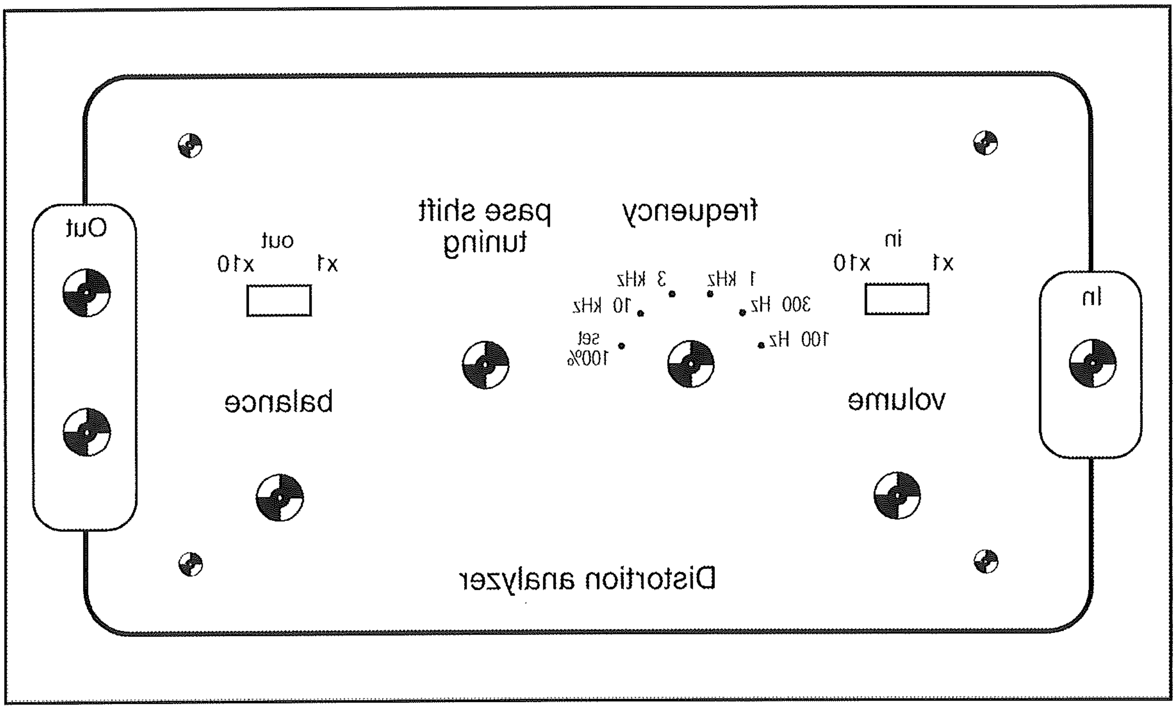
Op **www.hobbyelektronica.nu** selecteert u uit het linker menu de optie "Printservice". In het rechter venster selecteert u het hoofdstuknummer. U kunt nu de print als TIF-file downloaden. U opent deze file in een beeldbewerkingsprogramma en drukt deze met de op de Internet-pagina aangegeven afmetingen op transparante folie af. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

OPTIE 3: bestellen

U stuurt een **ONGEFRANKEERD** briefje naar Vego VOF, Antwoordnummer 30020, 6374 ED Landgraaf, met vermelding van het hoofdstuknummer. U krijgt per kerende post het printontwerpje op transparante folie **GRATIS** toegestuurd. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur



Figuur 4/7.41-14: Het ontwerp van de frontplaat van de analyzer.

HOE MAAKT U DEZE FRONTPLAAT?

OPTIE 1: zelf maken

U scant deze pagina en drukt deze met een inkjet-printer af op A4 formaat op transparante folie. U knipt de print uit en belicht er de fotogevoelige aluminium frontplaat mee.

OPTIE 2: via Internet

Op **www.hobbyelektronica.nu** selecteert u uit het linker menu de optie "Printservice". In het rechter venster selecteert u het hoofdstuknummer. U kunt nu dit ontwerp als TIF-file downloaden. U opent deze file in een beeldbewerkingsprogramma en drukt deze met de op de Internet-pagina aangegeven afmetingen op transparante folie af. U belicht hiermee de fotogevoelige aluminium frontplaat.

OPTIE 3: bestellen

U stuurt een **ONGEFRANKEERD** briefje naar Vego VOF, Antwoordnummer 30020, 6374 ED Landgraaf, met vermelding van het hoofdstuknummer. U krijgt per kerende post het ontwerpje op transparante folie **GRATIS** toegestuurd. U belicht hiermee de fotogevoelige aluminium frontplaat.

7.41 Vervormings-analyzer voor audio-apparatuur

4/7.42

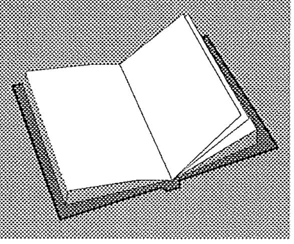
Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

Inleiding

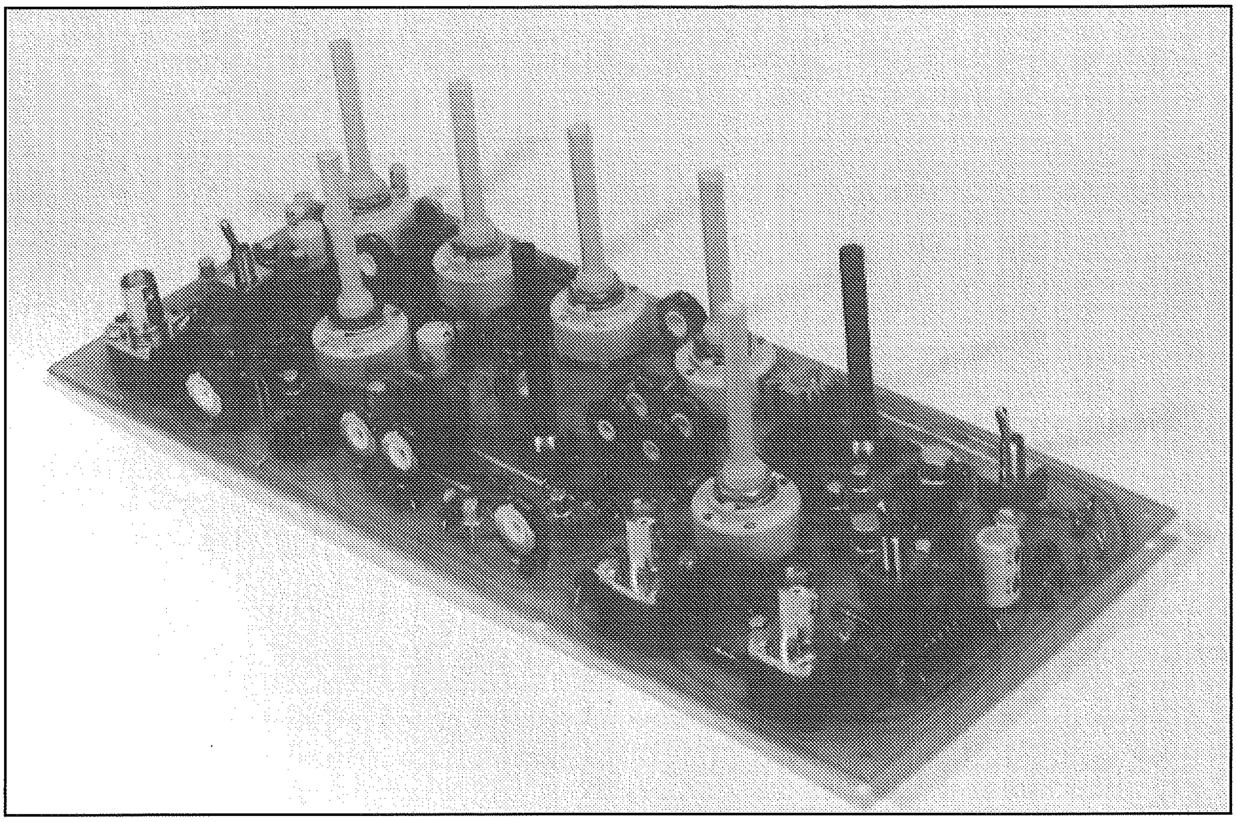
Van sinus- naar functiegenerator
Nog maar een tiental jaren geleden was een sinusgenerator, ook "toonfiets" genoemd vanwege de twee als fietswielen zo grote instelschalen voor de frequentie en de uitgangsspanning, hét apparaat van de hobbyist.
De nieuwe modetrend heet echter functiegenerator. Ook een apparaat waar signalen uit opborrelen, maar dan wel beter, universeler en aangepast aan de vooruitgang der techniek.
Een nieuwe generatie hobbyisten kijkt zich de ogen uit op al het fraais dat op dit gebied wordt aangeboden. Helaas voor forse prijzen. Veel te forse prijzen, meestal.
"Hobby Elektronica & Actueel IC-handboek" doet daar wat aan. In dit hoofdstuk wordt een zeer uitgebreide functiegenerator beschreven, die niet alleen alles biedt waar de elektronica hobbyist van droomt, maar bovendien door een uitgekiend printontwerp zeer eenvoudig is na te bouwen. Bovendien heeft het apparaat een aantal opmerkelijke extra's, die uniek te noemen zijn.
Aan de slag dus, oscilloscoopbezitters! Want dit is wél een voorwaarde. Zonder oscilloscoop kan het apparaat niet worden afgeregeld.

Presentatie en prestaties
Vele printontwerpen vertonen typische kenmerken van een oude binnenstad. Alle kleine onderdelen zitten gezellig bij elkaar op de print, terwijl alle wat grotere componenten worden geplaatst op de frontplaat of ergens in de behuizing. Een wirwar van draden is het gevolg, hetgeen niet bevorderlijk is voor een foutloze nabouw.
Bij dit ontwerp met niet minder dan negen schakelaars, twee potentiometers en drie uitgangsklemmen zouden meer dan 75 verbindingen tussen de printplaat en het frontpaneel noodzakelijk zijn.
Om de nabouwer deze nachtmerrie te besparen is gekozen voor een totale printopzet. Kijk maar naar figuur 4/7.42-1, waar de generatorprint in volle glorie wordt gepresenteerd.

LEES OOK:
Hoofdstuk 4/7.11
Hoofdstuk 4/7.22
Hoofdstuk 6/6.7



7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-1: Een overzicht van de "alles op één print" stijl van deze functiegenerator.

Alle onderdelen, tot zelfs de BNC aansluitbussen toe, zitten op de print. In totaal moeten nu slechts zes korte draadjes worden gesoldeerd tussen deze print en de voeding, die uiteraard eveneens op een print is gehuisvest.
Ondertussen is de lezer natuurlijk knap nieuwsgierig geworden naar de functie van die negen schakelaars, twee potentiometers en drie uitgangsbussen.

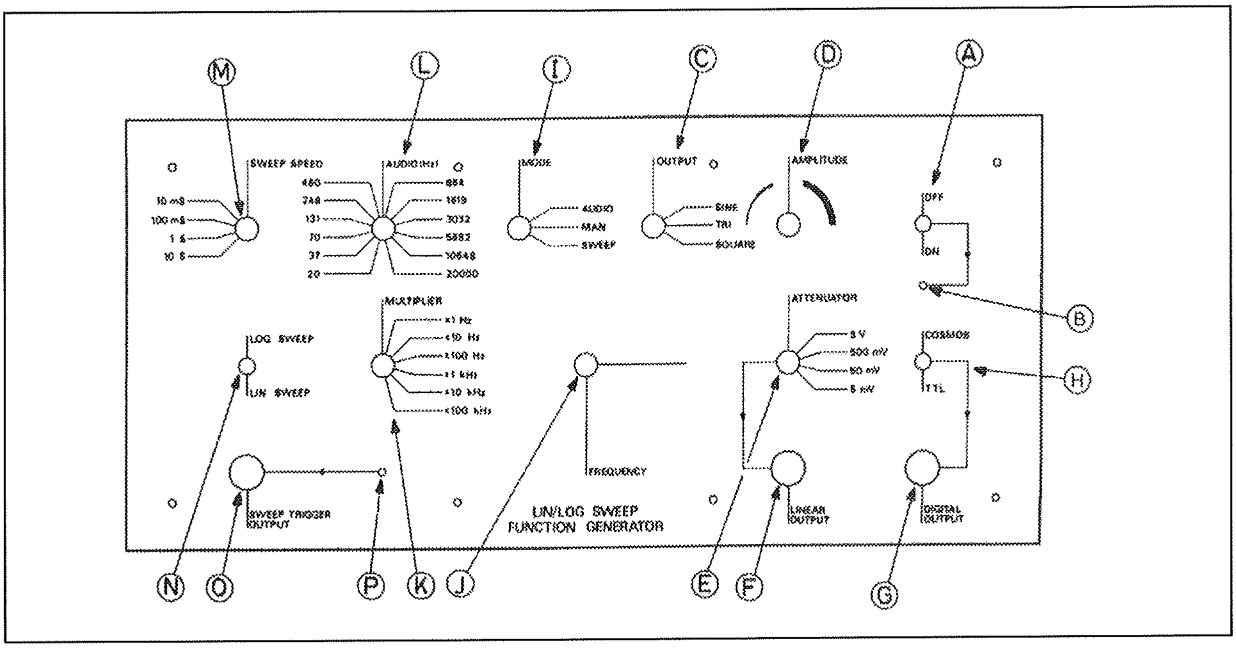
Signaalinstellingen

Fluks de blikken gericht op figuur 4/7.42-2, waar de indeling van de frontplaat is getekend. Door middel van schakelaar A wordt het apparaat in- en uitgeschakeld. Een LED'je B bevestigt deze handeling.
Met de driestanden schakelaar C kan men de vorm van de uitgangsspanning bepalen: sinus, driehoek of blok. De grootte van dit signaal is door middel van de potentiometer D instelbaar tussen nul en maximum.
Een eindversterker wordt met een veel groter signaal getest dan een MD-voorversterker. Een gebiedenschakelaar E is dus zonder meer op zijn plaats. Met deze vierstanden schakelaar kan men het door D bepaalde signaal instellen tussen:

- 0 V en 5 V;
- 0 V en 500 mV;
- 0 V en 50 mV;
- 0 V en 5 mV.

Deze getallen corresponderen met de effectieve waarde van de sinusspanning. Voor driehoek en blok geldt dat hun amplitude gelijk is aan de amplitude van het sinussignaal.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-2: Het bedieningspaneel van de functiegenerator.

Het door de knoppen C, D en E geselecteerde uitgangssignaal wordt aan de buitenwereld aangeboden door middel van de BNC uitgangsbus F.

Digitale uitgang

Vaak wordt een sinus- of functiegenerator gebruikt voor het sturen van digitale schakelingen. Meestal kan dat niet zonder extra voorzieningen. TTL- en CMOS-schakelingen eisen immers zeer gedefinieerde stuursignalen. Er moet dan steeds een extra schakelingetje worden opgebouwd, hetgeen op den duur gaat vervelen. Vandaar dat deze functiegenerator is uitgerust met een extra uitgang voor het rechtstreeks sturen van digitale schakelingen. Dit signaal staat ter beschikking op uitgang G. De grootte van dit uitgangssignaal, uiteraard een blokspanning, wordt bepaald door de stand van de omschakelaar H. Staat deze op TTL, dan levert de digitale uitgang een spanning tussen 0 V en 4,5 V. Omschakelen naar CMOS doet het uitgangssignaal groeien tot de grenzen 0 V en 12 V. Uiteraard is de frequentie van dit digitale signaal gelijk aan de frequentie van de lineaire uitgang.

Instellen van de frequentie

Wat ons meteen brengt naar de frequentiebepalende bedieningsknoppen. Allereerst is daar de driestanden schakelaar I. Zijn naam is mode, hetgeen wijze, manier, vorm, gebruik betekent. Het zal dus duidelijk zijn dat met deze schakelaar de manier, waarop signaalfrequenties aan het apparaat worden ontfutseld, wordt bepaald. De middenstand, manual, laat het bepalen van de frequentie over aan de gebruiker van het apparaat. Deze moet dan wel friemelen aan de knoppen J en K. De potentiometer J heeft een schaalindeling van 0,2 Hz tot 2 Hz. De omschakelaar K bepaalt het gebied. De zes gebieden bestrijken frequentiebanden van respectievelijk:

- 0,2 Hz tot 2 Hz;
- 2 Hz tot 20 Hz;

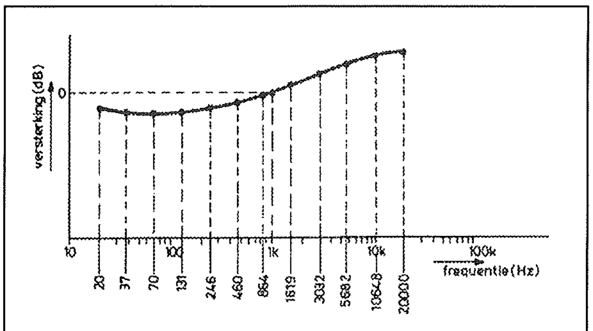
7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

- 20 Hz tot 200 Hz;
- 200 Hz tot 2 kHz;
- 2 kHz tot 20 kHz;
- 20 kHz tot 200 kHz.

Het omschakelen van de mode schakelaar I naar de stand audio zet J en K buitenspel. De twaalfstanden schakelaar L komt dan aan bod en selecteert twaalf frequenties uit het LF-gebied van 20 Hz tot 20 kHz.

Logaritmische frequenties

In eerste instantie lijken deze twaalf frequenties wat vreemd gekozen. Wat moeten we in hemelsnaam met 20, 37, 70, 131, 246, 460, 864, 1.619, 3.032, 5.682, 10.648 en 20.000 Hz?
Wie een rekenmachientje met wiskundige toetsen heeft, moet voor de grap eens de logaritmen met grondtal 10 berekenen van deze twaalf frequenties en de resultaten uitzetten op een centimeterschaal. Alle puntjes liggen dan even ver van elkaar.
Gaat er nu nog geen lichtje branden? Kijk dan naar figuur 4/7.42-3, waar hetzelfde is gedaan op de bekende logaritmische schaalverdeling waarop alle weergavekarakteristieken van versterkers worden getekend.



Figuur 4/7.42-3: Door middel van de audiomode kan men zeer snel de doorlaatkarakteristiek van een versterker opmeten.

Nu zal de bedoeling van de schakelaar L wél duidelijk zijn. Door middel van deze schakelaar kan men twaalf frequenties opwekken, die lineair verdeeld liggen op een logaritmische frequentieschaal.
Het opmeten van een amplitude/frequentie-karakteristiek van een versterker wordt dus dank zij deze schakelaar een werkje van één minuut. Men moet niet eens meer werken op logaritmisch papier. Men sluit de lineaire uitgang van de functiegenerator aan op de ingang van de versterker en een millivoltmeter met dB-schaal op de uitgang. Men zet schakelaar I op manual en stelt K en J in op 1 kHz. De amplitude van het uitgangssignaal van de generator wordt zo geregeld, dat de millivolt- annex decibelmeter 0 dB aanwijst. Dat is de beroemde 0 dB bij 1 kHz referentie, waar alle grafieken naar worden gerefereerd. Nadien schakelt men de mode schakelaar om naar audio en voor iedere stand van de audioschakelaar L kan men de versterking of verzwakking van de geteste versterker rechtstreeks in dB aflezen op de mV-meter. Deze twaalf meetwaarden kunnen op ruitjespapier worden uitgezet en in minder dan geen tijd heeft men de weergavekarakteristiek van de versterker op papier staan. Bij deze meting moet men er natuurlijk van op aan, dat de uitgangsspanning van de functiegenerator constant blijft. Wel, bij dit ontwerp is dat zo. De uitgangsspanning blijft gegarandeerd op 0 dB constant over het frequentiegebied van 20 Hz tot 20 kHz.

De sweep mode

Terug nu naar de mode schakelaar en eens kijken wat voor grapjes de laatste stand, sweep, in petto heeft. Het begrip sweep zal wel bekend zijn. Sweepen betekent dat de uitgangsfrequentie van een

generator automatisch een bepaald gebied doorloopt. Bij deze generator kan men sweepen over één decade, bepaald door de stand van de schakelaar K. Zet men bijvoorbeeld de multiplier schakelaar op de x 1 kHz stand en de mode schakelaar op sweep, dan zal de signaalfrequentie op de uitgang van de generator automatisch het volledige gebied van 200 Hz tot 2 kHz doorlopen.
De snelheid waarmee dit gebeurt is instelbaar door middel van schakelaar M. De vier standen staan respectievelijk voor een sweeptijd van 10, 1 , 0,1 en 0,01 seconde. Men kan dus de weergave van het sweepsignaal door een versterker zowel op de oscilloscoop (snelste sweeptijd) als op een X-t recorder (traagste sweeptijd) registreren.
De laatste schakelaar van het apparaat, omschakelaar N, bepaalt de manier waarop wordt gesweept. In de lineaire stand wordt uiteraard lineair gesweept, hetgeen wil zeggen dat de frequentie van het signaal lineair met de sweeptijd toeneemt. In de log sweep stand zal de frequentie min of meer logaritmisch toenemen met de sweeptijd. Min of meer, omdat het niet mogelijk is met normale onderdelen een échte logaritmische omvormer te maken. Liever dan een moeilijk verkrijgbaar speciaal IC te gebruiken hebben we gekozen voor een eenvoudige semi-logaritmische omvormer.
Op de uitgangsklem O, tenslotte, verschijnt een 12 V puls na iedere sweep cyclus. Deze spanning wordt gebruikt voor het triggeren van een scoop. De LED P geeft een optische indicatie bij het einde van een sweep.

Een uniek apparaat

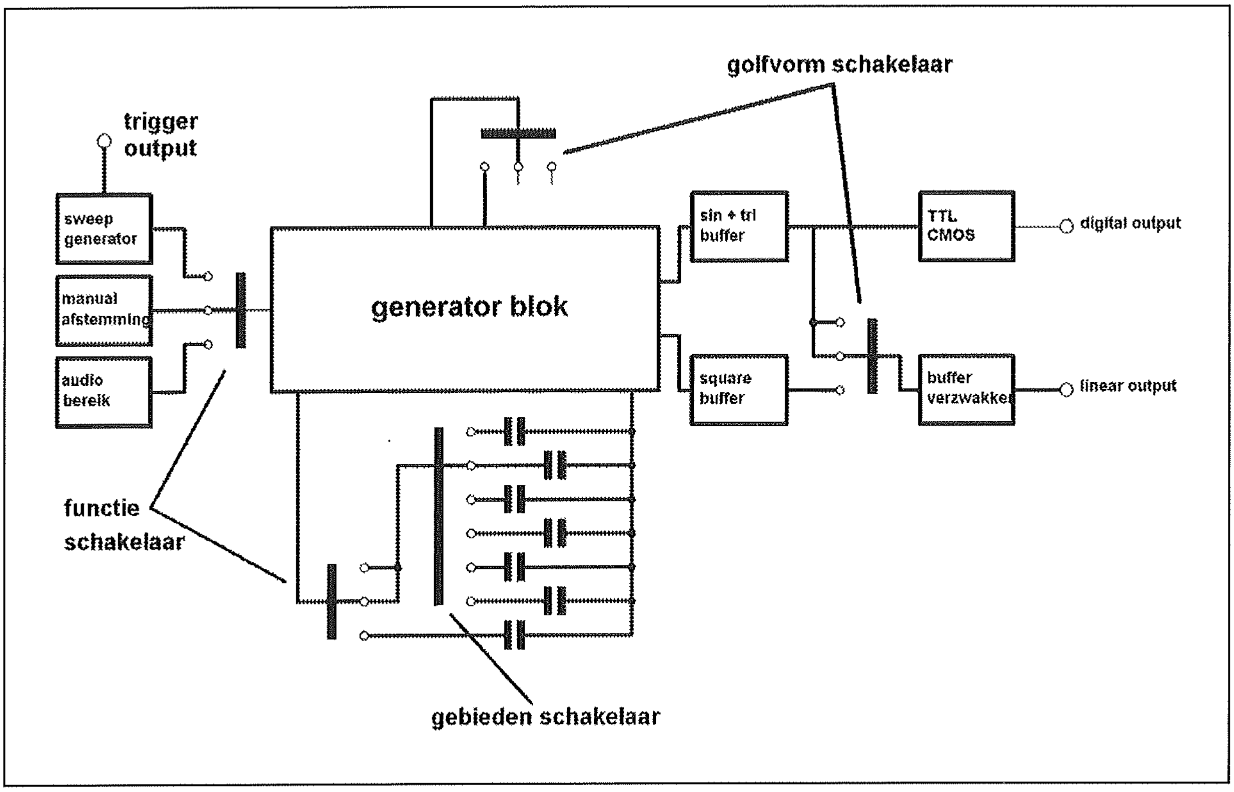
Hiermee hebben we deze functiegenerator volledig voorgesteld en er zal wel niemand ontkennen dat dit meetapparaat een juweel van een generator is. Dat er voor de realisatie van een en ander 85 weerstanden, 26 condensatoren, 18 dioden, 15 transistoren en 9 IC's nodig zijn zal geen verbazing wekken.
Laten we nu dan de functie van ieder onderdeel gaan bekijken.

Schema beschrijving

Het blokschema

Figuur 4/7.42-4 geeft het blokschema van de functiegenerator. Het hart van het apparaat is uiteraard het generatorblok, opgebouwd rond een EXAR functiegenerator IC XR-2206. Dit IC heeft een aantal ingangen, waarmee de frequentie van het opgewekte signaal wordt bepaald. Door middel van de functieschakelaar kan men deze ingangen sturen uit ofwel het sweepblok, het audioblok of de manual afstemming. Het frequentiegebied wordt door middel van een zesstanden schakelaar bepaald, die één van zes condensatoren inschakelt. Dat geldt voor de sweep- en manualfunctie. Het audiogebied wordt door één condensator volledig bestreken.
Vandaar dat de functie schakelaar een tweede sectie heeft, die de gebieden schakelaar in- en uitschakelt.
Het IC heeft twee uitgangen, waarvan de ene sinussen of driehoeken levert en de andere verantwoordelijk is voor het opwekken van de vierkantsgolven. Beide uitgangen worden afgesloten met buffers, noodzakelijk ofwel voor de gewenste hoge afsluitimpedantie van het IC, ofwel voor de goede golfvorm. Door middel van de golfvorm schakelaar kan men een van de drie signaalvormen aanbieden aan de uitgangsversterker met verzwakker.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



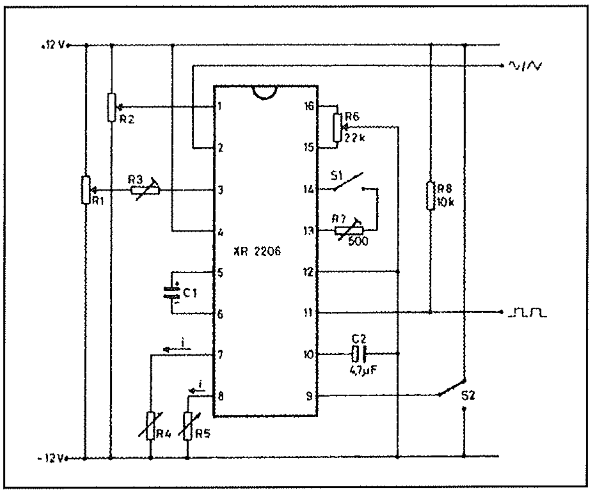
Figuur 4/7.42-4: Het blokschema van de functiegenerator.

Deze zorgt voor een constante uitgangsimpedantie van ongeveer 600 Ω. De sinusbuffer stuurt bovendien de digitale pulsvormer voor het sturen van TTL- en CMOS-IC's.
In de volgende paragrafen zullen deze verschillende blokken uitvoerig worden besproken. Hoewel het XR-2206 een zeer bekend IC is, lijkt het toch wel handig de bespreking van de werking van deze generator te starten met een paragraafje over de eigenschappen van dit IC zélf.

Het Exar XR-2206 IC

Figuur 4/7.42-5 geeft het principeschema van een functiegenerator, opgebouwd rond het XR-2206 IC. De voeding voor de schakeling wordt aangeboden tussen de klemmen 4 en 12. Aansluiting 4 is de positieve voedingsaansluiting, 12 de negatieve. Het verdient aanbeveling het IC symmetrisch te voeden, omdat de uitgangsspanningen dan rond nul liggen. De maximale voedingsspanning bedraagt 26 V, zodat we met de +12 V en -12 V binnen de marges zitten. Aansluiting 10 moet door middel van een elcootje worden ontkoppeld, op dit punt staat een intern noodzakelijke referentiespanning.
Op pen 2 kan men een sinus- of driehoeksignaal afnemen, afhankelijk van de weerstandswaarde tussen de pennen 13 en 14. Zijn deze aansluitingen niet met elkaar verbonden, dan levert uitgang 2 een driehoek. Sluit men tussen 13 en 14 een weerstand van maximaal 500 Ω aan, dan ontstaat op 2 een sinus. De vervormingsfactor van de sinusoidale uitgangsspanning is afhankelijk van de waarde van die weerstand.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-5: De basisschakeling rond de XR-2206 van EXAR.

Een tweede instelpotentiometer R6, deze keer van 22 kΩ, draagt ook het zijne bij aan de zuiverheid van de uitgangsspanning. Met deze instelling kan men de symmetrie van de uitgang regelen, dus het positieve deel van de sinus of driehoek net zo lang maken als het negatieve deel.

Pen 11 levert de vierkantsgolf. Deze uitgang is een zogenoemde open collector uitgang, dat wil zeggen dat men hem via een weerstand van minimaal 10 kΩ met de positieve voeding moet verbinden.

De gelijkspanning op aansluiting 1 bepaalt de grootte van de sinus- en driehoekvormige uitgangsspanning. De uitgangsspanning op pen 2 is nul als deze gelijkspanning symmetrisch tussen de positieve en negatieve voedingsspanning ligt en is maximaal als ze gelijk is aan een van de voedingsspanningen. Wel vervelend is het feit dat deze instelspanning ook enige invloed heeft op het gelijkspanningsniveau op uitgang 2. Dat is vervelend, omdat er tussen pen 2 en de uitgang van de generator geen condensator kan staan. Het frequentiegebied tot 0,2 Hz eist immers een rechtstreekse koppeling. Bovendien willen we uiteraard geen gelijkspanning op de uitgang van de generator aantreffen. Een en ander heeft tot gevolg dat de amplitudemodulatie mogelijkheid, middels een modulerende spanning op pen 1, bij dit ontwerp niet wordt gebruikt. Niet zo'n ramp, want er zijn maar weinig toepassingen te verzinnen van een AM-gemoduleerde uitgangsspanning.

Aansluiting 3 heeft een dubbele functie. Door middel van de potentiometer R1 kan men een eventueel op uitgang 2 aanwezige gelijkspanning wegregelen. De waarde van de weerstand R3 bepaalt bovendien de grootte van de uitgangsspanning op punt 2. Voor sinus geldt 60 mV top-tot-top per kΩ, voor driehoek geldt 160 mV top-tot-top per kΩ.

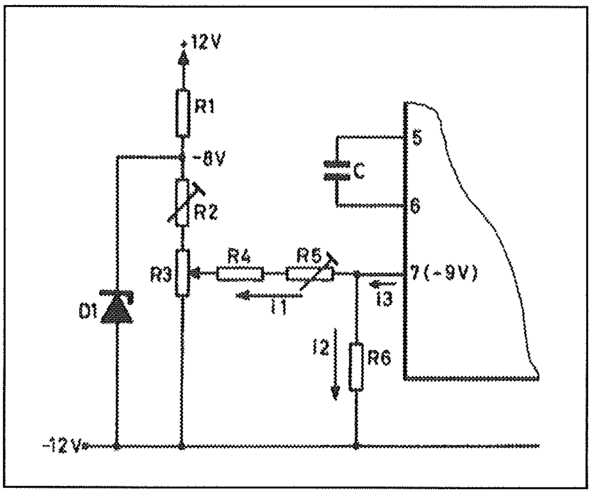
Hieruit volgt, dat men de amplitude van sinus en driehoek nooit gelijk krijgt als men niet tevens het netwerkje R1-R3 omschakelt voor sinus en driehoek.

Tussen de pennen 5 en 6 wordt de frequentiebepalende condensator aangesloten. Dit onderdeel kan iedere waarde tussen 1 nF en 100 µF hebben, waarbij de frequentie daalt bij groter wordende condensator.

De pennen 7, 8 en 9 bepalen de fijnregeling van de uitgangsfrequentie. Op de twee eerstgenoemde aansluitingen staat een referentiespanning van ongeveer -9 V (bij symmetrische voeding van +12 V en -12 V). De stroom i die uit deze referentie naar de negatieve voeding vloeit bepaalt de waarde van de uitgangsfrequentie. Het verband tussen stroom en frequentie is recht evenredig. De spanning op aansluiting 9 zal een van de twee hogergenoemde aansluitingen activeren. Als de spanning op 9 gelijk is aan de positieve voedingsspanning (of deze aansluiting open is), dan zal de stroom

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

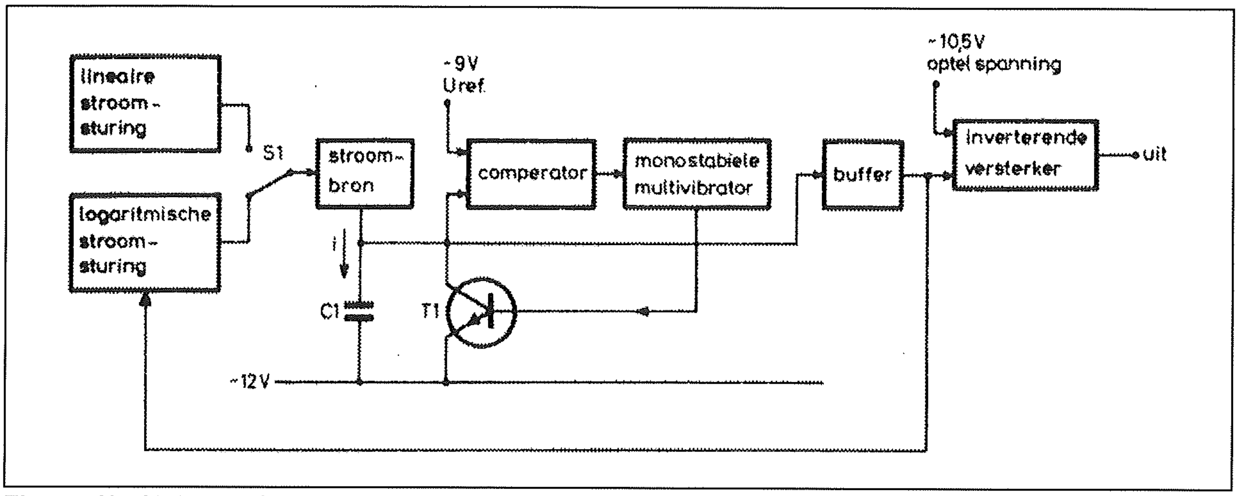
uit pen 7 de frequentie bepalen. Wordt aansluiting 9 verbonden met de negatieve voedingsspanning, dan zal pen 8 worden ingeschakeld.
Het stroomgebied uit 7 en 8 ligt tussen 1 µA en 3 mA, zodat in principe de frequentie over drie decaden kan worden geregeld. Als we, zoals getekend in figuur 4/7.42-5, deze stroom variëren door middel van potentiometers, dan zal de waarde van de ingestelde weerstand tussen 1 kΩ en 3 MΩ moeten liggen.
Nu is het in de praktijk niet altijd even handig de frequentie in te stellen door een variabele weerstand tussen aansluiting 7 of 8 en de -12 V voeding aan te sluiten. In de eerste plaats omdat het verband tussen frequentie en weerstand niet lineair is. De stroom die van het IC naar de negatieve voeding vloeit wordt dan immers bepaald door de deling van het 3 V spanningsverschil door de waarde van de weerstand. Er ontstaat een onpraktische schaalindeling. In de tweede plaats kunnen we veel eenvoudiger een sweepspanning opwekken dan een elektronisch te variëren weerstand.
Vandaar dat in figuur 4/7.42-6 een alternatieve frequentie-instelling is getekend, waarbij de stroom uit het IC afhankelijk is van het spanningsverschil tussen de referentie op 7 of 8 en de variërende spanning op de loper van een potentiometer.
Door middel van de weerstand R1 en de zenerdiode D1 wordt een stabiele spanning van -8 V opgewekt. Over de serieschakeling van R2 en R3 staat bijgevolg 4 V. Door het instellen van R2 kunnen we ervoor zorgen dat de spanning over de potentiometer R3 precies gelijk is aan het spanningsverschil tussen de negatieve voeding en aansluiting 7 van het IC. Als de loper van R3 in de bovenste stand staat, dan zal i1 gelijk zijn aan nul. Er staat immers geen spanningsverschil over de weerstanden R4 en R5, zodat de IC-stroom i3 gelijk is aan de stroom i2 die door R6 vloeit.



Figuur 4/7.42-6: Een alternatieve manier voor de fijnregeling van de frequentie.

Als de loper van de potentiometer R3 aan de -12 V ligt, dan wordt de IC-stroom bepaald door de som van i1 en i2. Door een juiste keuze van de waarde van de weerstanden R4, R5 en R6 kan men er voor zorgen dat de stroom i3 precies over één decade varieert bij het verdraaien van de loper van R3.
Door het lineaire verband tussen IC-stroom en opgewekte frequentie, zal dan ook deze laatste grootheid over één decade variëren.
Conclusie: als we aan het netwerkje R4 tot en met R6 een gelijkspanning leggen, met als grenzen -12 V en (ongeveer) -9 V, dan zal de frequentie van de generator over één decade instelbaar zijn. Bijvoorbeeld van 1 kHz tot 10 kHz, van 200 Hz tot 2 kHz, enzovoort. De plaats van deze decade in het totale frequentiespectrum wordt uiteraard bepaald door de waarde van de condensator C.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

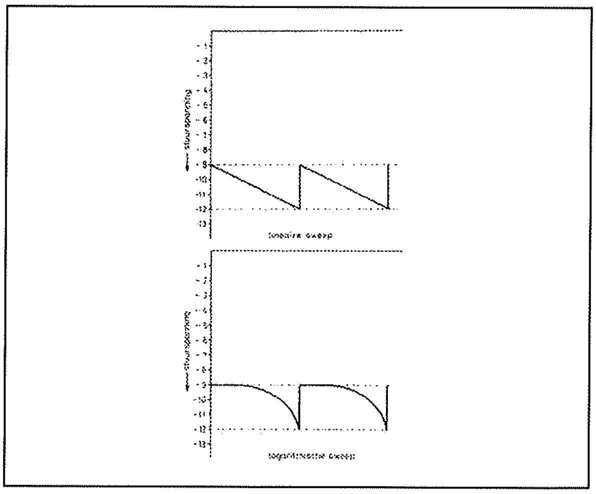


Figuur 4/7.42-8: Het blokschema van de sweepschakeling.

Dit principe wordt gebruikt bij de in de volgende paragraaf behandelde sweepschakeling.

Het blokschema van de sweepschakeling

Zoals gezegd bij de bespreking van de prestaties van de functiegenerator, levert het apparaat een frequentiesweep over één decade. De spanning die we hiervoor moeten opwekken, is getekend in figuur 4/7.42-7. Bij lineaire sweepfunctie moet de stuurspanning lineair afnemen van -9 V tot -12 V.
Dat is logisch, want een sweep start met de laagste frequentie uit de decade en stijgt langzaam tot de hoogste frequentie. Op dat moment moet de IC-stroom i3 het grootst zijn, dus de spanning op R4 (zie vorige afbeelding) het meest negatief.
Het komt er op aan een zaagtand op te wekken tussen -9 V en -12 V.
Voor de logaritmische sweepfunctie gelden dezelfde spanningsgrenzen, zij het dat het spanningsverloop niet lineair, maar logaritmisch is.
Figuur 4/7.42-8 geeft het blokschema van deze schakeling, waarbij de grafieken van figuur 4/7.42-9 worden gebruikt bij de verklaring.

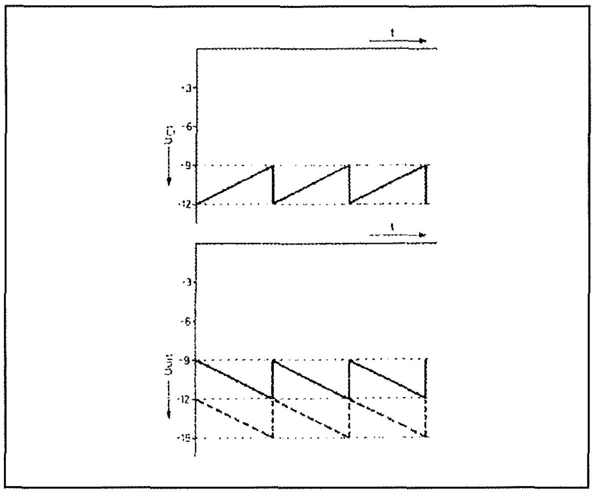


Figuur 4/7.42-7: De twee stuurspanningen voor het genereren van een lineaire en logaritmische sweep.

Het eerste dat opvalt is dat deze schakeling niet de massa als gemeenschappelijke leiding (of referentiepunt) heeft, maar de -12 V voedingsspanning. Een stroombron laadt een condensator C1 lineair of logaritmisch op, afhankelijk van de stand van de omschakelaar S1. De spanning over de condensator wordt

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

aangeboden aan één ingang van een comparator. De andere ingang voert een constante referentiespanning van -9 V. Als de condensatorspanning gelijk wordt aan deze referentie, zal de comparator een uitgangspuls opwekken, die een monostabiele multivibrator triggert. Een smal pulsje naar de basis van transistor T1 is het gevolg, zodat de condensator wordt ontladen en de cyclus wordt afgerond. Over condensator C1 ontstaat een lineair of logaritmisch stijgende spanning, tussen -12 V en -9 V.

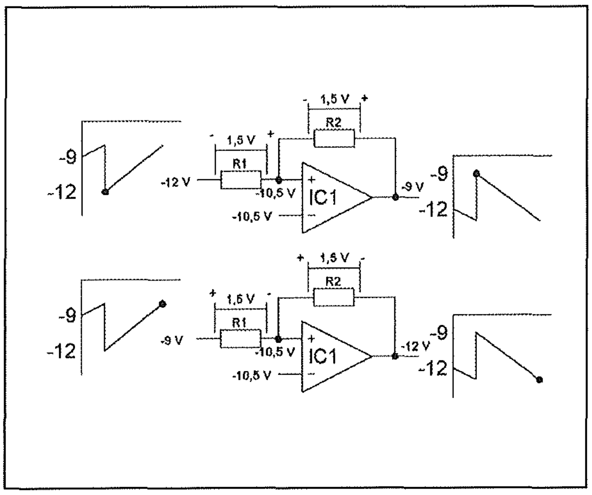


Figuur 4/7.42-9: De noodzakelijke omzetting van een stijgende zaagtand in een dalende zaagtand.

Deze spanning wordt aangeboden aan een buffer met als enige taak het scheiden van de condensator van de rest van de schakeling. De uitgang van deze schakeling stuurt een terugkoppelsignaal naar de logaritmische stroomsturing en een inverterende versterker. Deze laatste heeft als taak het omzetten van de stijgende condensatorspanning in een dalende, tussen dezelfde spanningsgrenzen. Dat proces gaat in twee stappen. Het inverteren van de uitgangsspanning van de buffer levert een dalende spanning op tussen -12 V en -15 V. Gelijktijdig wordt een constante spanning van -10,5 V opgeteld, waardoor de uitgangsspanning van de inverter als het ware wordt "opgetild" en tussen -9 V en -12 V varieert.

Genereren van de dalende zaagtand

Figuur 4/7.42-10 onthult de finesses van deze elektronische rekenkundige bewerkingen. We herkennen een op-amp IC1 en het normale netwerk tussen in- en uitgang opgebouwd uit twee even grote weerstanden R1 en R2.



Figuur 4/7.42-10: De praktische realisatie van de spanningsomvorming van figuur 4/7.42-9.

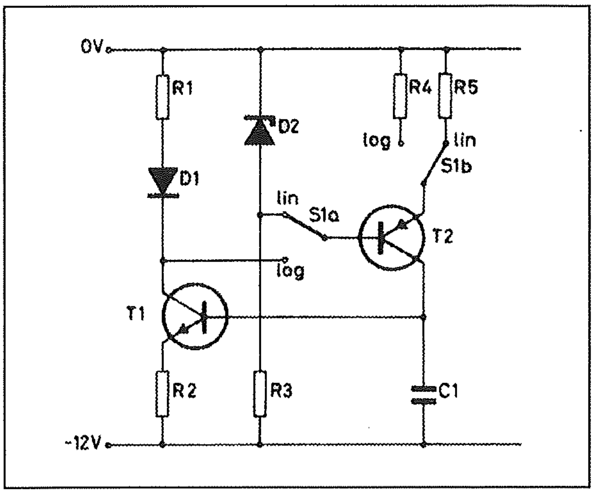
De positieve ingang staat op een constante spanning van -10,5 V. Aan de hand van twee voorbeelden zullen we de werking van de schakeling verklaren, waarbij we de voornaamste eigenschap van operationele versterkers in gedachte houden. Het spanningsverschil tussen beide ingangen wordt door de schakeling steeds naar nul geregeld. In het eerste voorbeeld is de ingangsspanning gelijk aan -12 V. Over weerstand R1 staat dan een spanning van 1,5 V, met de gete-

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

kende polariteit. De inverterende ingang van de op-amp staat immers op -10,5 V! Omdat de ingangsimpedantie van de op-amp erg hoog is, vloeit er één stroom door de serieschakeling van R1 en R2. Beide weerstanden zijn even groot, zodoende zal ook de spanningsval over de componenten gelijk zijn. Over R2 valt 1,5 V, met de getekende polariteit. De uitgangsspanning van de op-amp is gelijk aan de algebraïsche som van de spanning op de inverterende ingang en de spanning over R2. Hetgeen -9 V oplevert.
In het tweede voorbeeld is de ingangsspanning gelijk aan -9 V. Op dezelfde pseudo-wiskundige manier kan men aantonen dat de uitgangsspanning van de schakeling gelijk is aan -12 V.
Besluit: de stijgende zaagtand van -12 V naar -9 V is omgezet in een dalende zaagtand tussen -9 en -12 V.

De logaritmische stroombron
Alvorens het totale schema van de sweeper te bespreken, richten wij onze aandacht op figuur 4/7.42-11, waar de principiële werking van de logaritmisch/lineaire stroombron wordt verduidelijkt.
Als schakelaar S1 op de lineaire stand is geschakeld, herkennen wij een normale stroombron. De basis van transistor T2 wordt door middel van de zenerdiode D2 en de weerstand R3 ingesteld op een vaste spanning.
De emitterspanning zal dan ook constant blijven (het spanningsverschil tussen basis en emitter van een transistor is immers constant), zodat de emitterweerstand R5 door een constante stroom wordt doorlopen.
De collectorstroom is bijgevolg ook constant, de condensator C1 wordt lineair opgeladen.

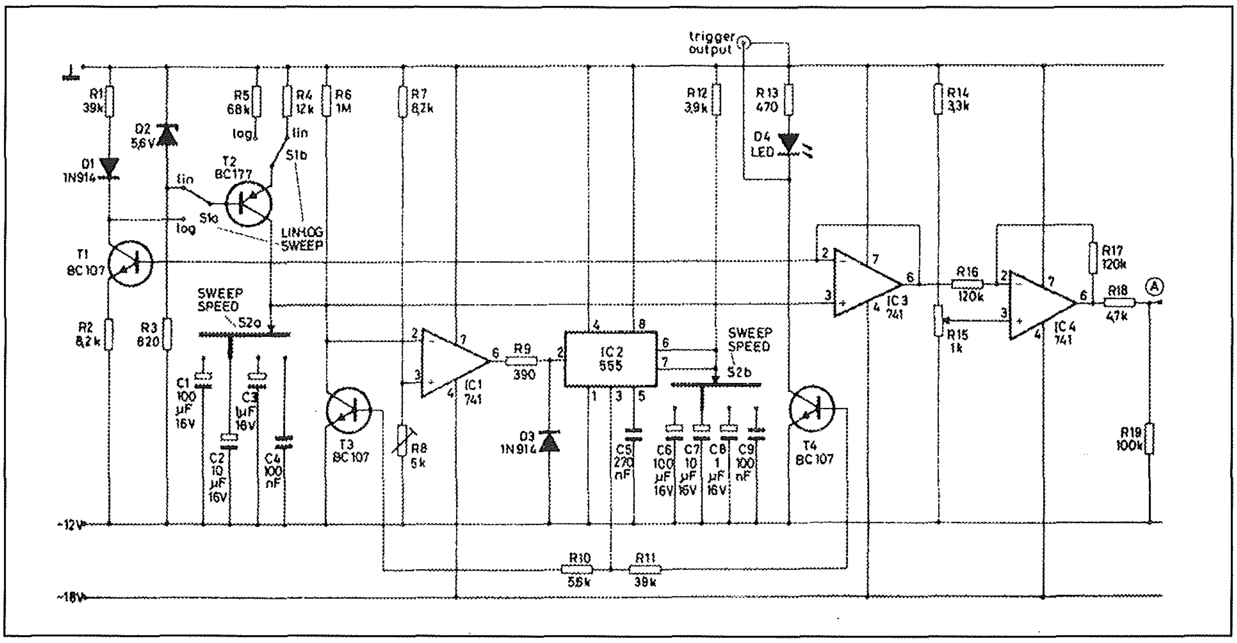
Wat gebeurt er als we S1 omschakelen naar de log-stand? In de eerste plaats wordt een veel grotere emitterweerstand R4 in de stroomloop opgenomen.



Figuur 4/7.42-11: Het principe van de lineair/logaritmische stroombron.

In de tweede plaats wordt de basis van T2 gevoed uit de collectorspanning van T1. De basis van deze halfgeleider is verbonden met de laadcondensator. Deze verbinding vormt de reeds bij het blokschema besproken terugkoppeling. Stel dat de condensator net ontladen is en een nieuwe cyclus start. De spanning over dit onderdeel is nul, transistor T1 zal niet geleiden. De basis van T2 wordt nu alleen gepolariseerd door de geringe spanningsval over diode D1 en weerstand R1, veroorzaakt door het vloeien van basisstroom. Transistor T2 geleidt nauwelijks, de emitter- en collectorstromen zijn zeer laag. De spanning over C1 stijgt zeer langzaam. Op een bepaald moment is deze spanning echter zo ver gestegen, dat transistor T1 gaat geleiden. De collectorstroom zorgt voor een spanningsval over de serieschakeling van R1 en D1, zodat de spanning op de basis van T2 daalt.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-12: Het praktisch schema van de sweepschakeling.

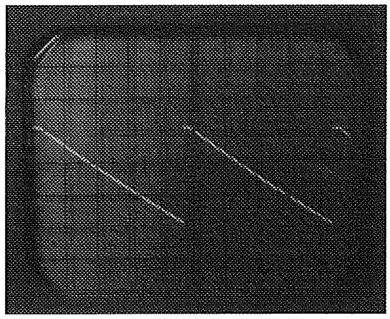
Deze halfgeleider gaat meer geleiden, de stroom door C1 stijgt. De spanningstoename per tijdseenheid wordt groter. Een en ander heeft tot gevolg dat ook T1 meer gaat geleiden. De collectorspanning daalt nog verder, T2 ontvangt meer basissturing, de laadstroom stijgt flink.
Door een geschikte keuze van R1, R2 en R4 zal de spanningsstijging over condensator C1 een goede benadering zijn van een logaritmische curve. Bovendien zal men de verhouding R4-R5 zo kiezen, dat in beide laadfuncties de tijdsduur van het laadproces gelijk is. Dan is de tijd van een sweep onafhankelijk van de stand van omschakelaar S1.

Het volledige schema van de sweepschakeling

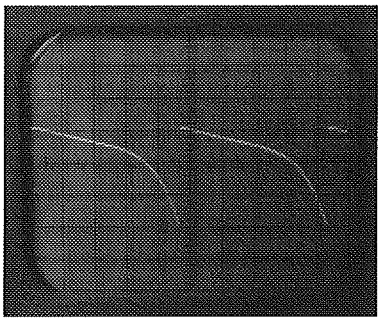
Dit schema is getekend in figuur 4/7.42-12. De schakeling rond T1 en T2 is duidelijk herkenbaar. Omdat we vier verschillende sweeptijden gebruiken, schakelt sectie a van de vierstanden schakelaar S2 vier verschillende condensatoren in de laadkring van de stroombron. Operationele versterker IC1 is als comparator geschakeld. De negatieve ingang ontvangt de condensatorspanning, de positieve is verbonden met het knooppunt van de vaste weerstand R7 en de instelpotentiometer R8. Met dit laatste onderdeel kan de referentiespanning van de comparator worden ingesteld. De op-amp kan niet worden gevoed uit de normale negatieve spanning van -12 V. De te verwerken signaalspanningen zijn immers soms -12 V en vandaar dat een beroep wordt gedaan op de ongestabiliseerde negatieve voedingsspanning, die ongeveer gelijk is aan -18 V.
De positieve voedingsaansluiting van het IC wordt verbonden met de massa. De monostabiele multivibrator is opgebouwd met een 555 timer-IC. De triggeringang 2 ontvangt signaal van de uitgang van de op-amp, waarbij een netwerkje R9-D3 er zorg voor draagt dat deze spanning niet lager kan worden dan -12,7 V. De timer wordt immers wél gevoed uit de

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

-12 V en een spanning van -18 V op de triggeringang zou niet zo bevorderlijk zijn voor de verdere levensloop van dit IC.
De pulsduur van de monostabiele schakeling moet net groot genoeg zijn om de condensator, die met S2a is geselecteerd, volledig te ontladen. Vandaar dat deze pulsbreedte door middel van de tweede schakelaarsectie wordt aangepast aan de waarde van de ingeschakelde laadcondensator.
De uitgang van de timer stuurt enerzijds de ontlaadtransistor T3 middels weerstand R10 en anderzijds de LED D4 middels R11 en T4. Deze LED geeft dus een optische indicatie van het einde van een sweep, hetgeen zeker bij een sweeptijd van 10 seconden erg handig is. Bovendien wordt uit de collectorspanning van transistor T4 een triggersignaal afgeleid, waarmee de tijdbasis van een oscilloscoop kan worden gestuurd.
IC3 is de buffer. De positieve ingang ontvangt de condensatorspanning, de negatieve ingang is rechtstreeks gekoppeld met de uitgang, zoals dat hoort bij een buffer. De basis van transistor T1 gaat naar die uitgang, zodat de kring voor het opwekken van de logaritmische sweep is gesloten.
Operationele versterker IC4 is de inverterende schakeling, waarbij de optelspanning door middel van instelpotentiometer R15 precies op -10,5 V kan worden afgeregeld.
Het weerstandsnetwerkje R18 - R19 staat voor de stuurschakeling R4 tot en met R6 uit figuur 4/7.42-6, zodat de uitgang A van de sweepschakeling rechtstreeks naar pen 7 van het generator-IC kan worden geleid.
De schermbeeldfoto's van figuur 4/7.42-13 en figuur 4/7.42-14 geven een indruk van de twee mogelijke uitgangsspanningen van deze schakeling.



Figuur 4/7.42-13: De sweepspanning voor lineaire sweep.

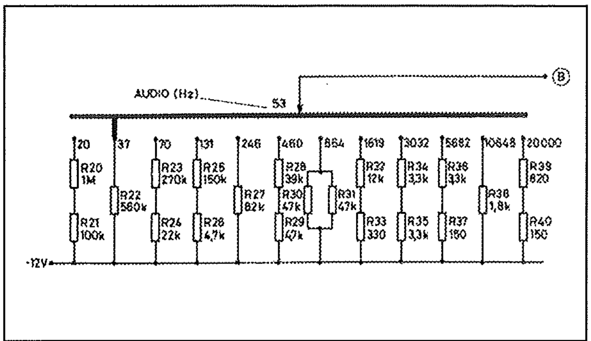


Figuur 4/7.42-14: De sweepspanning voor logaritmische sweep.

De audio stuurschakeling
In de stand audio van de mode schakelaar worden twaalf frequenties opgewekt in het LF-gebied van 20 Hz tot 20 kHz. Dat komt overeen met drie decaden en hoewel het volgens de gegevens van EXAR mogelijk moet zijn deze brede frequentie-omvang door middel van een stuurspanning op de pennen 7 of 8 van het 2206 IC op te wekken, bleek dat in de praktijk niet haalbaar.
Vandaar dat is teruggegrepen naar de sturing met een variabele weerstand tussen de -12 V voeding en pen 7, zoals getekend in het schema van figuur 4/7.42-5. Het komt er dan op neer twaalf verschillende weerstanden door middel van een

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

12-standen schakelaar met het IC te verbinden, hetgeen in de praktijk ook gebeurt, kijk maar naar het schema van figuur 4/7.42-15.



Figuur 4/7.42-15: Het schema van de audio schakeling.

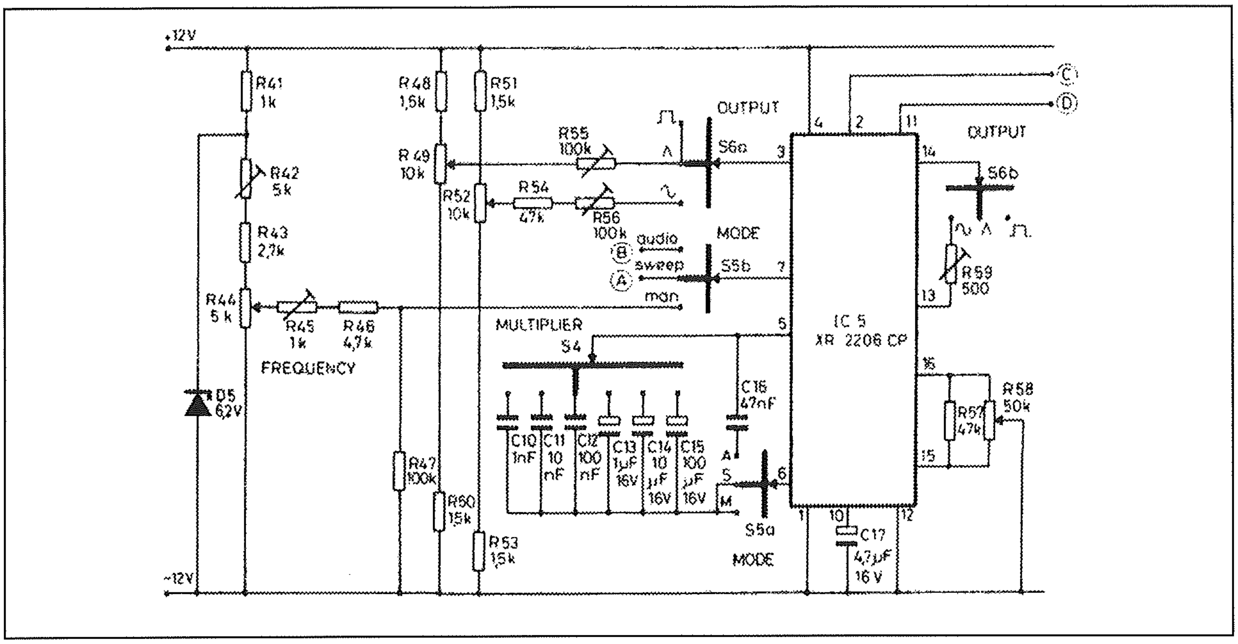
Deze twaalf weerstanden zijn experimenteel bepaald en bij de nabouw van de schakeling kan men dus wel enige afwijkingen verwachten. Bovendien zit er al een onnauwkeurigheid in het schema ingebakken, want de twaalf weerstandswaarden zijn eerst bepaald met een instelpotentiometer en nadien opgebouwd uit combinaties van E-12 weerstanden. Er is bewust niet gekozen voor de voor de hand liggende oplossing van 12 serieschakelingen van vaste weerstanden met instelpotentiometers. In de eerste plaats kon reeds bij het ontwerpen van de generator worden voorzien dat hiervoor geen plaats zou zijn op de print. In de tweede plaats is een weergavekarakteristiek geen nauwkeurige meting, omdat er bij het meten van decibels flink wordt afgerond. Fouten van 5 % tot 10 % op de frequentieschaal schaden de meting niet. Op de grootte van die fouten komen we overigens in de laatste paragraaf terug, want daar gaan we net doen alsof dit ontwerp ons volkomen vreemd is en het genadeloos op de testbank leggen.

Uitgang B van het schema uit figuur 4/7.42-15 stuurt rechtstreeks de frequentiebepalende aansluiting van het EXAR-IC.

De generatorschakeling

De praktische schakeling rond het functiegenerator IC XR-2206 is getekend in figuur 4/7.42-16 en wijkt slechts op details af van het principeschema van figuur 4/7.42-5. De twee uitgangen 2 en 11 gaan naar de buffers, via de verbindingen C en D. De outputschakelaar S6 kiest de gewenste uitgangsgolfvorm. De eerste sectie (a) schakelt pen 3 van het IC naar twee identieke instelnetwerkjes, respectievelijk voor sinus en voor driehoek. Door middel van de instelpotentiometers R49 en R52 kan men het gelijkspanningsniveau wegregelen, terwijl men met R55 en R56 de amplitudes van sinus en driehoek even groot maakt.
Bij vierkantsgolf wordt pen 3 verbonden met het netwerkje voor de instelling van de driehoek.
De tweede sectie van schakelaar S6 brengt het IC al of niet in verbinding met de instelpotentiometer R59, waardoor de schakeling weet of een sinus of een driehoek wordt verlangd.
De mode schakelaar S5 kiest tussen audio, sweep en manual afstemming. Bij audio wordt pen 7 verbonden met de uitgang van de vorige schakeling, zodat een van de twaalf weerstanden tussen pen 7 en de -12 V wordt opgenomen. De tweede sectie van deze schakelaar (S5a) schakelt C16 in als frequentiebepalende condensator. Deze condensatorwaarde geeft in combinatie met de twaalf weerstanden de twaalf gewenste uitgangsfrequenties. Bij sweep wordt pen 7 verbonden met de uitgangsspanning van de sweepschakeling.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-16: Het schema rond de XR-2206.

Bovendien schakelt de onderste schakelaarsectie de multiplier schakelaar S4 in. Door middel van dit onderdeel kan een van de condensatoren C10 tot en met C15 tussen de pennen 5 en 6 worden geschakeld, waardoor de te sweepen band vast ligt.
Het omschakelen van S5 naar manual verandert niets aan deze laatste situatie. Ook dan moeten we immers zes verschillende frequentiebanden kunnen kiezen!
De fijnregeling van de frequentie wordt verzorgd door het linker deel van het schema. Ook dit is niet nieuw, eenzelfde soort schakeling hebben we ontdekt bij de bespreking van figuur 4/7.42-6. Naast de frequentiebepalende potentiometer R44 zijn twee instelpotentiometertjes R42 en R45 opgenomen, waarmee de schaal kan worden geijkt.
Pen 1 van het IC is verbonden met de negatieve voedingsspanning. De uitgangsspanning is bijgevolg maximaal en er wordt geen gebruik gemaakt van de amplitude-modulatie mogelijkheid. Dit vanwege de reeds eerder vermelde nare IC-eigenschap dat de modulatie ook het gelijkspanningsniveau op de uitgang beïnvloedt.
Pen 9 zal u tevergeefs zoeken. Deze aansluiting hangt in de lucht, hetgeen betekent dat pen 7 actief is en 8 niet meespeelt.
De mogelijkheid om door middel van deze sturing twee verschillende frequenties uit het IC te ontlokken hebben we niet aangegrepen, omdat we daar het praktische nut niet van inzagen.

Filosoferen over de lineaire uitgangsbuffers

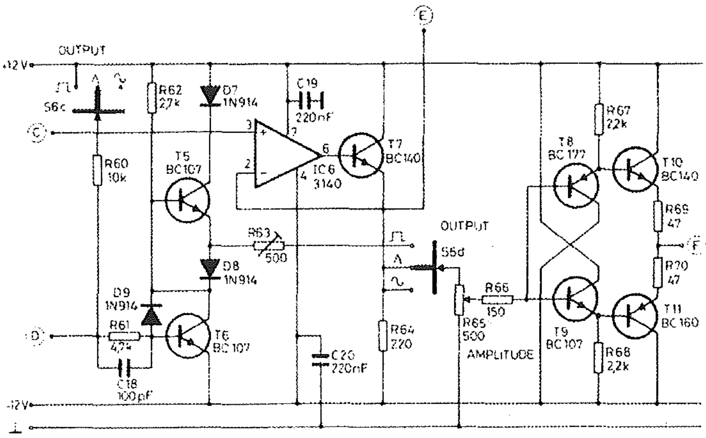
De signalen die uit de twee uitgangsklemmen van het IC komen zijn niet zonder meer bruikbaar voor verdere bewerking.
Laten we even dieper ingaan op het waarom van die stelling. De uitgangsspanning van een generator moet regelbaar zijn over een breed gebied. Zowel 3 mV voor het sturen van een MD

versterker als 1,5 V voor het testen van een eindversterker moeten zonder moeite uit het apparaat worden gehaald. Dat vereist zowel een stappenverzwakker als een potentiometer. De uitgangsimpedantie van een generator moet laag zijn, zodat de meetkabel tussen generator en te testen apparaat geen storingen kan oppikken.
De meest gebruikelijke gang van zaken is dat men het eigenlijke generatorgedeelte van de schakeling afsluit met een potentiometer, de loper hiervan naar een complementair versterkertje stuurt en de uitgang van deze schakeling afsluit met een uit lage weerstanden opgebouwde stappenverzwakker.
In principe zouden we ook bij onze schakeling de sinus- en driehoeksuitgang van het generator-IC rechtstreeks op een vrij hoogohmige potentiometer kunnen aansluiten. Het EXAR IC kan deze belasting zonder meer aan. Als we echter de rechthoekuitgang 11 met deze hoogohmige potentiometer zouden verbinden, dan gaat er iets mis. Zolang de potentiometer volledig is opengedraaid lijkt er niets aan de hand. Er verschijnt een mooie blokgolf op de loper. Als we de loper naar onderen verplaatsen stellen we echter vast dat niet alleen de grootte van de blokspanning afneemt, maar dat ook de stijg- en daaltijden van de golfvorm verschrikkelijk slecht worden. Dat is logisch want de weerstandsspanningsdeler, die de potentiometer in wezen is, vormt met de paracitaire bedradingscapaciteit van de print een ideaal laagdoorlaatfiltertje, waar de hogere harmonischen van de blokgolf niet doorheen komen.
Liever zouden we dus geen potentiometer gebruiken voor het regelen van de grootte van de uitgangsspanning. Maar omdat er geen andere methode is te verzinnen, moeten we wel genoegen nemen met deze allesbehalve ideale oplossing. Het nadelige effect van het RC-filter op de golfvorm kan wel worden geminimaliseerd door de waarde van de potentiometer zo laag te kiezen als praktisch mogelijk is. Dan kom je bij 500 Ω uit, en zou je zo'n lage potentiometerwaarde aansluiten op de uitgangen van het IC, dan zou er niets van de spanning overblijven. Er moet dus een vermogensbuffer worden opgenomen tussen de uitgang van het IC en de amplitude potentiometer.

De praktische uitgangsbuffer voor sinus en driehoek

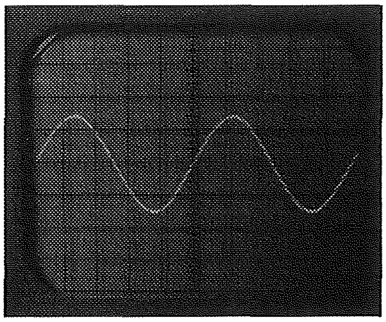
In het schema van figuur 4/7.42-17 is deze buffer opgebouwd uit een op-amp IC6 en een emittervolger T7. Het IC is geen 741, maar een 3140 die een veel grotere bandbreedte heeft en dus goed raad weet met de 200 kHz bij 15 V top-tot-top sinussen en driehoeken.
Oscillatieneigingen worden effectief onderdrukt door het schakelen van twee condensatoren C19 en C20 tussen de voedingsaansluitingen van het IC en de massa.
De uitgang van de buffer gaat naar omschakelaar S6, de reeds bekende selector voor de gewenste golfvorm. Het moedercontact stuurt de amplitude potentiometer R65. De loper van dit onderdeel gaat naar de ingang van een zeer eenvoudige complementaire versterker. De crossover vervorming is zo gering, dat ze alleen opvalt bij bijna volledig dichtgedraaide potentiometer R65, een situatie die in de praktijk niet voorkomt, omdat we voor het opwekken van zo'n kleine spanningen gebruik maken van de in de volgende paragraaf beschreven stappenverzwakker.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-17: De lineaire uitgangstrappen voor sinus, driehoek en blok.

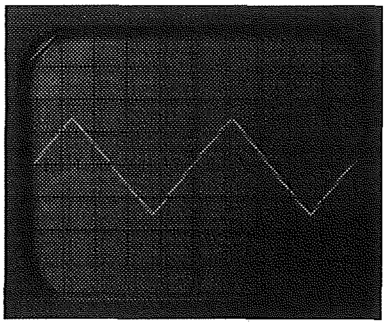
De schakeling heeft een spanningsversterking van 1, zodat de bandbreedte groot genoeg is voor het verwerken van een 200 kHz blokgolf.
De foto's van de figuren 4/7.42-18 en 4/7.42-19 geven een indruk van de zuiverheid van de uit deze versterker (en de rest van de schakeling) komende spanningen. De signaalfrequentie van beide signalen is 1 kHz, de amplitude bedraagt 7,5 V.



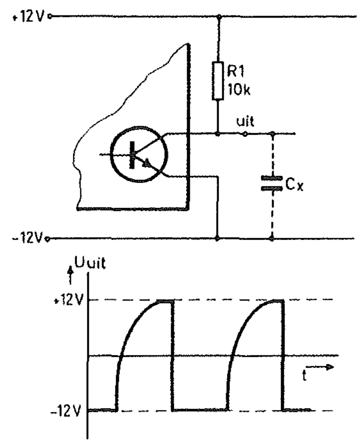
Figuur 4/7.42-18: De sinus uitgangsspanning.

De blokgolf uitgang

Voor de verwerking van de signalen uit de blokgolfuitgang 11 heeft de ontwerper van het EXAR IC een onaardigheidje ingebouwd. De interne uitgangstrap is getekend in figuur 4/7.42-20 en bestaat uit niets meer dan een simpele transistor!



Figuur 4/7.42-19: De driehoek.



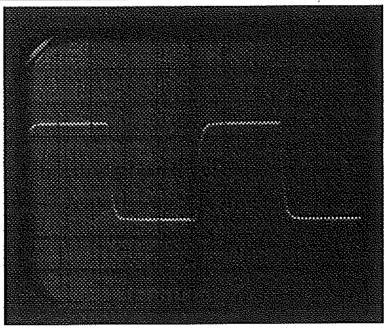
Figuur 4/7.42-20: De interne schakeling voor uitgang 11.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

De collectorweerstand moet extern worden aangebracht en mag niet kleiner zijn dan 10 kΩ. Het zal duidelijk zijn dat er uit zo'n schakeling geen goede blok komt. Wat gebeurt er namelijk? Als de interne transistor geleidt is de collectorspanning gelijk aan -12 V. Bij het in sper komen van de halfgeleider wil de collectorspanning fluks naar +12 V stijgen. Helaas is daar weer die vervelende bedradingscapaciteit Cx, die een leuk differentiërend netwerkje vormt met de collectorweerstand. Het opladen van deze capaciteit zorgt voor een mooie asymptotische voorflank en dat reeds bij 10 kHz. Toch troffen wij verschillende schema's aan waar de vierkantsgolf rechtstreeks uit het IC werd afgeleid!
Terug nu naar het schema van figuur 4/7.42-17, waar rond T5 en T6 een van de TTL-technologie afgeleide buffer is getekend. Punt D gaat naar de collector van de uitgangstransistor in het IC. Als deze halfgeleider geleidt, dan is de spanning op D gelijk aan -12 V en zal transistor T6 sperren. T5 krijgt basissturing via R62, zodat de positieve voedingsspanning op de uitgang van de schakeling staat. Die uitgang is uiteraard de emitter van T5. Als de interne transistor spert, dan zal er via R60 en R61 stroom vloeien in de basis van transistor T6, zodat deze halfgeleider wordt gestuurd. De uitgang van de buffer wordt via de diode D8 met de -12 V voeding verbonden. Uiteraard moeten we er wel voor zorgen dat T5 spert. Was dat niet het geval, dan zouden beide voedingsspanningen worden kortgesloten. De verbinding tussen de basis van T5 en de collector van T6 zorgt hiervoor, in samenwerking met de diode D8. Als T6 geleidt, dan wordt de basis van T5 met de -12 V verbonden. De emitter van deze transistor staat echter op een spanning die 0,7 V positiever is. Deze spanning ontstaat over de geleidende diode D8. Transistor T5 kan dus nooit geleiden als zijn soortgenoot T6 dat wél doet.
Enige details. De diode D7 is opgenomen voor de symmetrie van de uitgangsspanning. Over deze diode valt even veel spanning als over diode D8, zodat in beide schakeltoestanden van de buffer de uitgangsspanning gelijk is aan de voedingsspanning + of - 0,7 V.
Condensator C18 verbetert de flankweergave van de schakeling. Hij compenseert de basis/emitter-capaciteit van T6 en natuurlijk ook de onvermijdelijke bedradingscapaciteit. Diode D9 houdt transistor T6 op het randje van verzadiging. Deze halfgeleider kan dan zonder al te veel tijdverlies terugschakelen naar sper, zodat de overgang van negatieve naar positieve uitgangsspanning snel gaat. De uitgang van deze digitale buffer wordt via de instelpotentiometer R63 aangeboden aan schakelaar S6d. Als deze schakelaar in de rechthoekspanning stand wordt gezet, dan ontstaat er een spanningsdeler R63-R65. Met de instelpotentiometer kan zodoende de top-tot-top waarde van deze golfvorm worden gelijk gemaakt aan dezelfde grootheid van sinus en driehoek.
Schakelaar S6c zal de schakeling rond T5 en T6 alleen activeren als hij in de stand rechthoek wordt gezet. Gebleken is, dat de sinusoidale uitgangsspanning vervormt als de uitgangstransistor van aansluiting 11 schakelt. Met dit extra schakelaarsegment kunnen we deze slechte eigenschap van het IC vergoelijken.
Figuur 4/7.42-21 toont de 200 kHz vierkantsgolf uitgangsspanning. De oscilloscoopinstellingen zijn 5 V per schaaldeel en 1 μs per schaaldeel. De stijgtijd van de

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

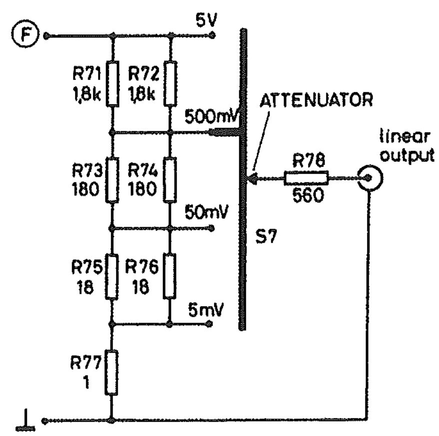
puls bedraagt ongeveer 100 ns, terwijl de daaltijd iets langer is: ongeveer 150 ns.



Figuur 4/7.42-21: De blokgolf uitgang van de generator levert hier 200 kHz, een mooie puls!

De stappenverzwakker

De stappenverzwakker is niets anders dan een resistief netwerkje, waarmee de 0 V tot 5 V uitgangsspanning van de eindversterker wordt gedeeld door respectievelijk 1, 10, 100 en 1.000.
Met evenveel recht kan men natuurlijk ook stellen, dat iedere stap van de verzwakker een extra verzwakking van 20 dB inschakelt.
Het schema is getekend in figuur 4/7.42-22.



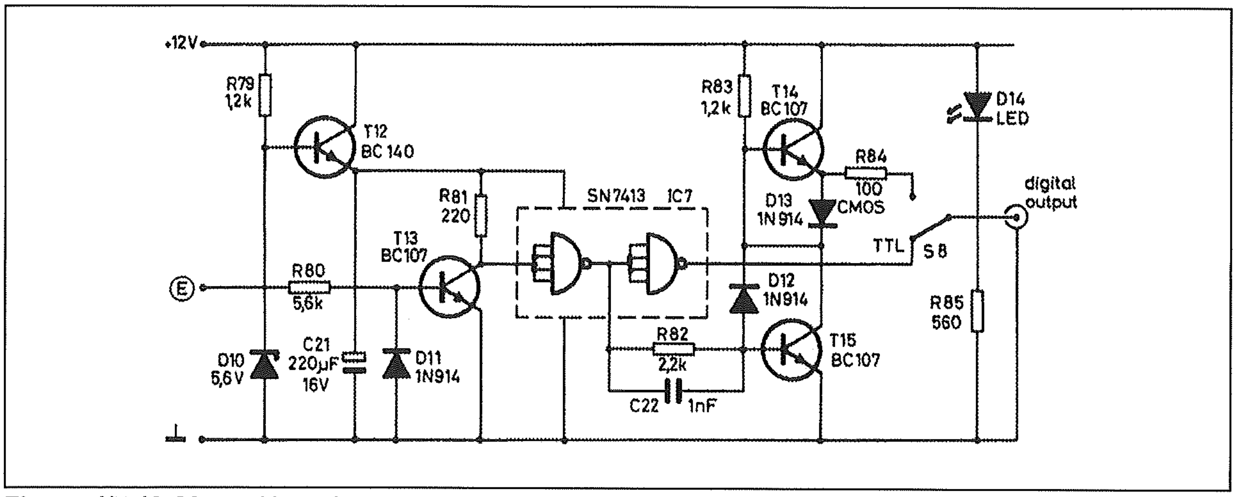
Figuur 4/7.42-22: Het schema van de stappenverzwakker.

F komt van de uitgang van de complementaire versterker en stuurt vier in serie opgenomen weerstanden. Drie van die weerstanden zijn ieder opgebouwd uit de parallelschakeling van twee identieke weerstanden. Dat is noodzakelijk omdat de weerstandswaarden moeten voldoen aan 1/9, 1/99 en 1/999 verhoudingen. Niets ligt meer voor de hand dan zo'n deler op te bouwen uit de E-12 waarden 1 en 18.
Een voorbeeldje. De serie-parallel schakeling van de weerstanden R71 tot en met R76 levert een vervangingswaarde van 999 Ω op. Als de schakelaar op de stand 5 mV is geschakeld en aan de ingang van de spanningsdeler een spanning van 1 V wordt aangelegd, dan valt 999 mV over de net berekende vervangingswaarde en 1 mV over de weerstand R77 van 1 Ω.
In principe zou men voor deze weerstanden 1 % typen moeten gebruiken, de praktijk leert echter dat normale 5 % exemplaren goed voldoen.

De digitale schakeling

De digitale uitgangsschakeling is getekend in figuur 4/7.42-23 en bevat geen speciale schakeltrucjes. Door middel van transistor T12, weerstand R79, zenerdiode D10 en condensator C21 wordt uit de +12 V voeding een hulpspanning van +5 V afgeleid.
Deze spanning voedt de schakeltrap rond T13 en de 7413. De sinus (of driehoek) van de vermogensbuffer wordt door transistor T13 omgevormd tot een door TTL-IC's te verwerken signaal.
De diode D11 beschermt de transistor tegen te hoge inverse basis/emitter-spanningen. De spanning op de collector van T13 stuurt twee in cascade geschakelde schmitt-trigger poorten.

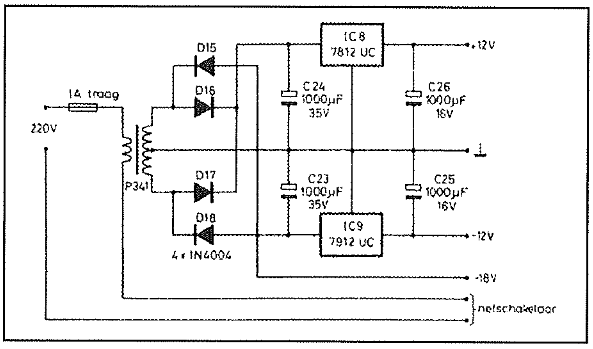
7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-23: Het schema van de digitale uitgangstrap.

De uitgang van de tweede poort gaat naar de TTL/CMOS-schakelaar S8 en nadien naar de digitale uitgang.
De uitgang van de eerste poort stuurt een uitgangstrap met bekende structuur. De schakeling rond de transistoren T14 en T15 is inderdaad identiek van opbouw als de reeds eerder besproken digitale buffer van de lineaire uitgangstrap. Via weerstand R84, die transistor T14 beschermt bij kortsluiting van de uitgang, gaat het CMOS-stuursignaal naar de omschakelaar S8 en dan verder naar de uitgang.
De LED D14 en de weerstand R85 vormen de aan/uit-indicatiekring van het apparaat.

De voeding
De functiegenerator vraagt voedingsspanningen van +12 V, -12 V en -18 V. Het stroomverbruik is vrij gering, namelijk ongeveer 250 mA.
Het schemaatje van figuur 4/7.42-24 levert, ondanks zijn eenvoud maar dank zij de wonderen van de integratie, twee goed gestabiliseerde en temperatuurstabiele voedingsspanningen. Deze voeding komt ook op print, vandaar dat is gekozen voor een printtrafo van 2 x 15 V bij 2 x 200 mA.

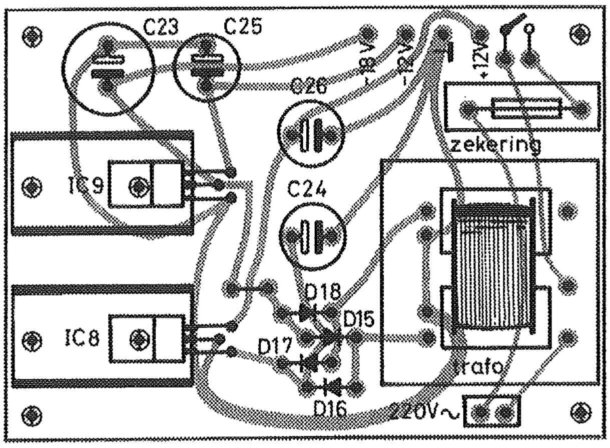


Figuur 4/7.42-24: Het schema van de voeding.

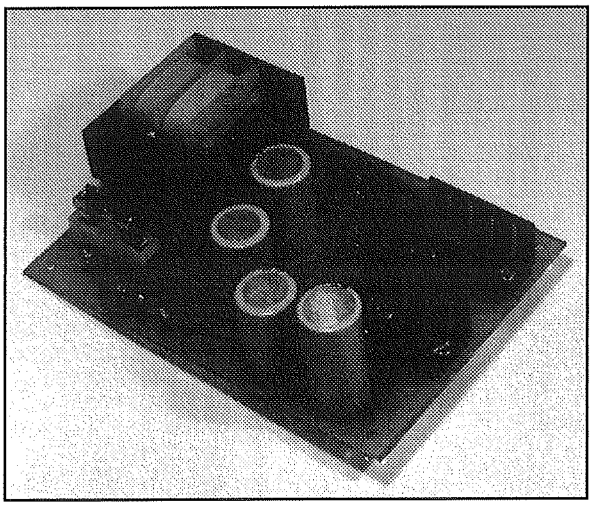
De bouw

De bouw van de voeding
Laten we de bouw van dit complexe apparaat aanvangen bij het meest gemakkelijke onderdeel: de voeding. Figuur 4/7.42-25 op de voorlaatste pagina van dit hoofdstuk geeft het printontwerpje, de componentenopstelling volgt uit figuur 4/7.42-26. Over de bouw valt niets bijzonders te melden, denk er om dat de beide stabilisatoren als TO-220 uitgevoerd zijn en op een U-vormig koelplaatje thuis horen. Figuur 4/7.42-27 geeft een impressie van het resultaat.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-26: De componentenopstelling van de voeding.



Figuur 4/7.42-27: De voeding is klaar!

De bouw van de generator

Het zal wel voor iedereen duidelijk zijn, dat het ontwerpen van de print voor de generator geen sinecure was. De plaats van de meeste onderdelen ligt immers vast door de indeling van het bedieningspaneel. Toch zijn we er in geslaagd het geheel door middel van een relatief eenvoudig sporenpatroon te realiseren. Figuur 4/7.42-28, op de laatste pagina van dit hoofdstuk, toont deze print, met als afmetingen 28,5 cm bij 12 cm, in iets verkleinde uitvoering. De bestukking is getekend in figuur 4/7.42-29 en het lijkt ons verstandig de bouw van deze print wel enigszins te begeleiden.

Eerste stappen

Tien draadbruggetjes, gecodeerd van A tot en met J, komen het eerst aan de beurt. Sommige zijn vrij lang, gebruik dus geïsoleerde draadjes.
Nadien kunnen zeven IC-voetjes in de print worden gesoldeerd: vijf achtpolige, een veertienpolig en een zestienpolig. Gebruik goede kwaliteit! Niets is zo ergerlijk als een schakeling die niet tegen een stootje kan vanwege slechte contacten. Vervolgens solderen we zes printsoldeerlipjes op de print voor het aanvoeren van de voedingsspanningen en de verbinding tussen aan/uit-schakelaar en netcircuit.

De kleine onderdelen

De dioden zijn de eerste elektronische onderdelen die hun plaatsen opzoeken. In totaal worden acht 1N4148 schakeldioden en twee zenerdioden in de print gesoldeerd. Nadien kunnen we ons enige tijd bezig houden met de vaste weerstanden.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 0,25 W, 5 %

1	Ω	R77
18	Ω	R75,R76
47	Ω	R69,R70
100	Ω	R84
150	Ω	R37,R40,R66
180	Ω	R73,R74
220	Ω	R64,R81
330	Ω	R33
390	Ω	R9
470	Ω	R13
560	Ω	R78,R85
820	Ω	R3,R39
1	kΩ	R41
1,2	kΩ	R79,R83
1,5	kΩ	R48,R50,R51,R53
1,8	kΩ	R38,R71,R72
2,2	kΩ	R67,R68,R82
2,7	kΩ	R43,R62
3,3	kΩ	R14,R34,R35,R36
3,9	kΩ	R12
4,7	kΩ	R18,R26,R29,R46,R61
5,6	kΩ	R10,R80
8,2	kΩ	R2,R7
10	kΩ	R60
12	kΩ	R4,R32
22	kΩ	R24
39	kΩ	R1,R11,R28
47	kΩ	R30,R31,R54,R57
68	kΩ	R5
82	kΩ	R27
100	kΩ	R19,R21,R47
120	kΩ	R16,R17
150	kΩ	R25
270	kΩ	R23
560	kΩ	R22
1	MΩ	R6,R20

INSTELPOTENTIOMETERS, STAAND, RASTER 10 x 5 mm

500	Ω	R59,R63
1	kΩ	R15,R45
5	kΩ	R8,R42
10	kΩ	R49,R52
50	kΩ	R58
100	kΩ	R55,R56

DRAAIPOTENTIOMETERS, LINEAIR, MONO

500	Ω	R65
5	kΩ	R44

CERAMISCHE CONDENSATOR

100	pF	C18

MKM CONDENSATOREN, RASTER 7,5 mm OF 10 mm

1	nF	C10,C22
10	nF	C11
47	nF	C16
100	nF	C4,C9,C12
220	nF	C19,C20
270	nF	C5

PRINTELCO'S, 16 V

1	µF	C3,C8
10	µF	C2,C7
4,7	µF	C17
100	µF	C1,C6,C15
220	µF	C21
1.000	µF	C25,C26

PRINTELCO'S, 35 V

1.000	µF	C23,C24

TANTAALCONDENSATOREN, 16 V

1	µF	C13
10	µF	C14

HALFGELEIDERS

1N4148	D1,D3,D7,D8,D9,D11,D12,D13
1N4004	D15,D16,D17,D18
5,6 V zener	D2,D10
6,2 V zener	D5
LED, 5 mm	D4,D14
BC107	T1,T3,T4,T5,T6,T9,T13,T14,T15
BC177	T2,T8
BC140	T7,T10,T12
BC160	T11
741 mini-DIL	IC1,IC3,IC4
3140 mini-DIL	IC6
7812 TO-220	IC8
7912 TO-220	IC9
XR-2206	IC5
7413	IC7
555 mini-DIL	IC2

DRAAISCHAKELAARS, C&K LORLIN, PRINT

1x12	S3
2x6	S4
3x4	S2,S7
4x3	S5,S6

TUIMELSCHAKELAARS, C&K 7201

2xOM	S1,S8,S9

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

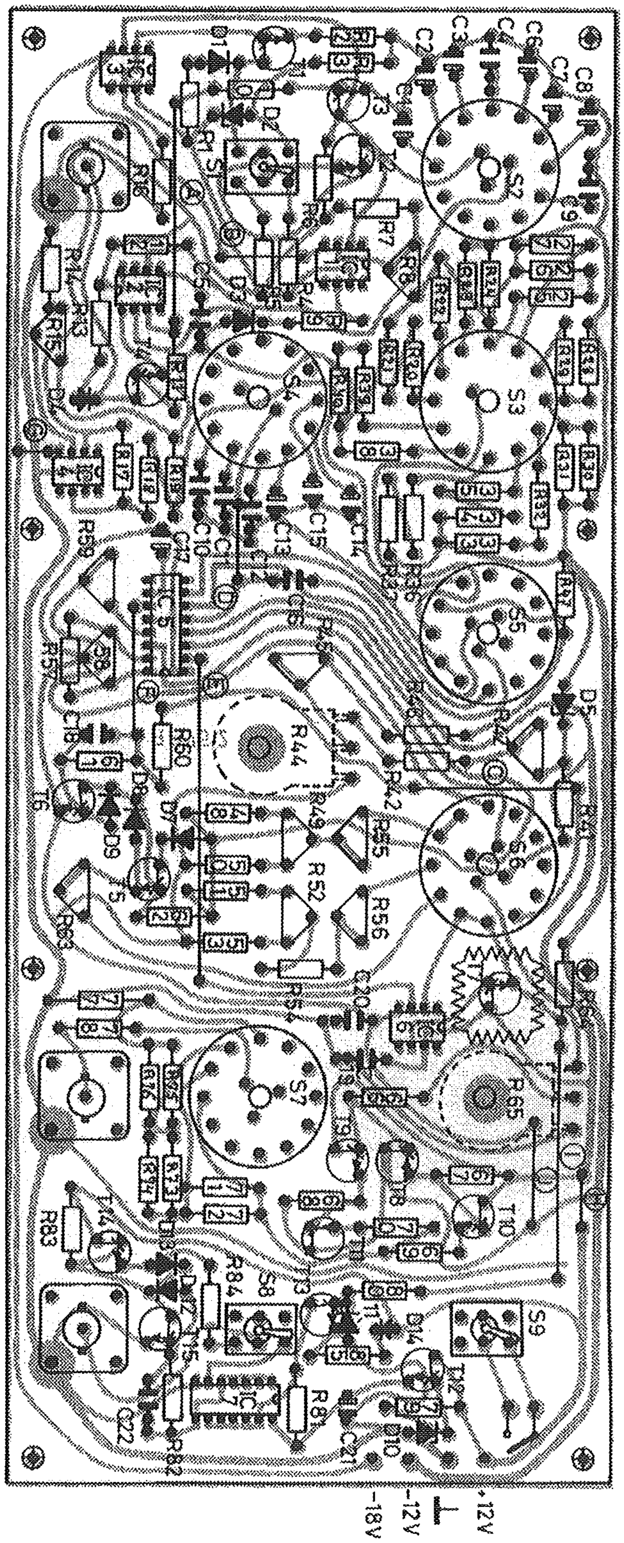
DIVERSEN			
1	printtrafo 2 x 15 V, 2 x 200 mA	12	printsoldeerlipje
1	printzekeringhouder met 1 A zekering	9	isolatieringetje voor M3
1	2-polig printkroonsteentje, raster 5 mm	4	M3x10 boutje
5	8-pens IC-voetje	16	M3x20 boutje
1	14-pens IC-voetje	8	M3x50 boutje
1	16-pens IC-voetje	40	M3 moertje
3	BNC chassisdelen, 4-gats, 290 A/U	16	10 mm afstandsbusje, kunststof
1	koelster voor TO-5, zoals KKP600	16	20 mm afstandsbusje, kunststof
1	koelplaatje voor 16-pens IC	8	spantang knop, 15 mm met markeringspijl
2	koelplaatjes voor TO-220, zoals SK13		

Dat zijn er niet minder dan 72, waarvoor 0,25 W exemplaren mogen worden gebruikt. Uitzondering op de regel is R64, de emitterweerstand van de vermogensbuffer, die 0,5 W moet zijn. Het is zeer waarschijnlijk dat u de 1 Ω weerstand voor de stappenverzwakker (R77) niet als normale uitvoering kunt vinden. Vandaar dat de print ruimte biedt aan een 1 W draadweerstand, zonder dat andere componenten in de verdrukking raken.
De MKM-condensatoren gaan nu in het gelid staan. Deze tien miniatuur condensatortjes verhuizen naar de print, waarbij zowel de oude 7,5 mm als de nieuwe 10 mm uitvoeringen bruikbaar zijn.
De eenzame ceramische condensator C18 nemen we in één soldeerbeurt mee.
Tijd voor de transistoren! Negen x BC107, twee x BC177, drie x BC140 en één x BC160 zoeken hun gaatjes op. De BC140 kan worden vervangen door 2N1613, de BC160 heeft er geen bezwaar tegen als zijn plaats wordt ingenomen door een 2N2905. Alleen T7 (BC140) moet worden gekoeld door middel van een sterretje.
De elco's en tantaalcondensatoren besluiten deze eerste bestukkingsronde. De elf elco's zijn printuitvoeringen met een bedrijfsspanning van 16 V. Eén opmerking: kies exemplaren die niet hoger zijn dan 18 mm. Dat is namelijk de afstand tussen print en frontplaat en grotere exemplaren komen dus duidelijk in de verdrukking.

De bedieningsorganen

Vervolgens kunnen we onze aandacht richten op de bedieningsorganen. De drie tuimelschakelaars met ieder twee omschakelcontacten worden eerst voorzien van zes korte, stevige draadjes.
Ideaal hiervoor zijn de resten van de weerstandsdraden. Soldeer deze draden allemaal aan dezelfde kant van de aansluitlipjes! Nadien worden de schakelaars door de gaatjes in de print geduwd, waarbij er wordt op gelet dat de aansluitlipjes op de print komen te rusten. Doet men dat niet met de nodige zorgvuldigheid, dan staan de schakelaars schots en scheef op de print, wat zich onverbiddelijk wreekt bij de samenbouw van print en frontplaat.
Figuur 4/7.42-30 toont hoe het moet. Het zal duidelijk zijn dat voor deze schakelaars niet de allerkleinste miniatuur typen in aanmerking komen. C&K levert onder code 7201 de juiste schakelaars. Denk er verder aan, dat één van deze elementen de netspanning schakelt, een bedrijfsspanning van 250 V AC is dus noodzakelijk.
De twee draaipotentiometers zijn lineair en worden op de print geschroefd. Het lichaam van deze onderdelen zit dus aan de koperkant van de print.

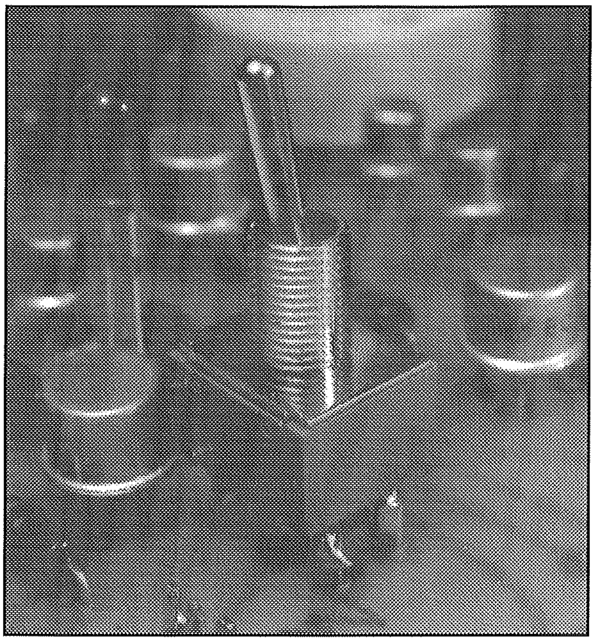
7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-29: De componentenopstelling van de generator print.

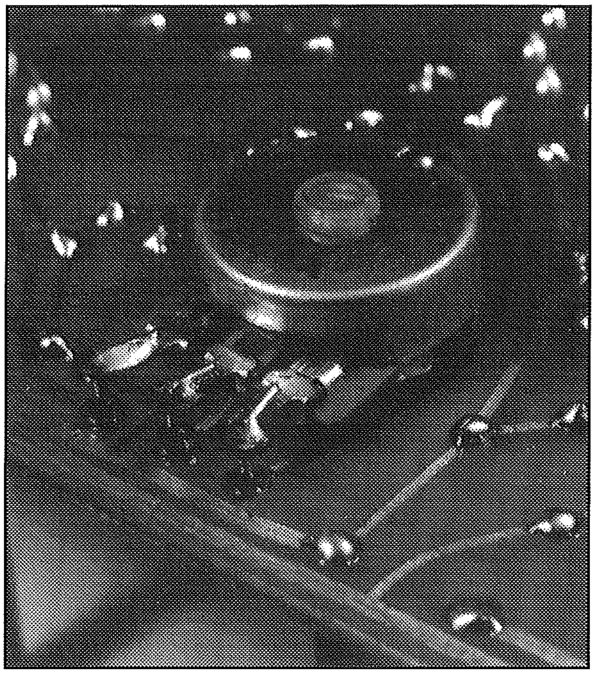
7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

Zoals figuur 4/7.42-31 laat zien, kan men na bevestiging de aansluitingen van de potentiometers door middel van kleine draadjes verbinden met de eilandjes op de print.



Figuur 4/7.42-30: Montage van de tuimelschakelaars op de print.

Voor we overgaan naar de draaischakelaars nemen we eerst de elf instelpotentiometers onder handen. Dit zijn staande uitvoeringen met een 10 x 5 raster. Ook hier geldt: inbouwhoogte maximaal 18 mm! De tegenwoordig courant verkrijgbare en stofdichte Piher instelpotentiometers van het type PT15NH voldoen precies aan deze norm.
Als men voor de zes draaischakelaars printuitvoeringen van C&K, type LORLIN CK-1082P tot en met CK-1085P koopt, heeft men geen problemen, want de print is voor deze uitvoeringen ontworpen. De exemplaren met draadoogjes zijn ook bruikbaar, mits men de aansluitpennetjes net boven de draadoogjes onder een hoek van 45 graden afsnijdt.



Figuur 4/7.42-31: De montage van de draaipotentiometers op de print.

Let op! Verschillende merken Japanse draaischakelaars zijn niet bruikbaar, omdat de positie van het moedercontact niet gelijk is aan die van de C&K uitvoeringen.
Tot slot de montage van de BNC chassisdelen. Figuur 4/7.42-32 brengt licht in de duisternis. BNC chassisdelen heeft men in twee uitvoeringen. Sommigen kunnen rechtstreeks in een frontplaat worden geschroefd, anderen hebben daarvoor 4 extra M3 gaatjes op een soort flens. Alleen deze laatste uitvoeringen (type 290A/U) zijn bruikbaar.
De montage op de print gaat als volgt. In de eerste plaats wordt de centrale pen voorzien van een kort, stevig draadje. Nadien worden vier M3x20 boutjes in de vier gaten van de flens bevestigd met M3 moertjes en 10 mm afstandsbusjes. Het geheel wordt nu op de print bevestigd met nog eens vier M3 moertjes.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-32: De montage van de BNC chassisdelen op de print.

Rond drie printgaatjes zit geen koperen eilandje. Het verdient aanbeveling hier isolatieringetjes op te nemen tussen de print en de moertjes, zodat deze laatsten geen printsporen kunnen kortsluiten. De vierde moer kan op het printeilandje worden vastgesoldeerd. Deze zorgt immers voor de elektrische verbinding tussen de massa van het chassisdeel en de massaleiding op de print. Ook de centrale draad wordt uiteraard op de print gesoldeerd.

Eindmontage

De print is nu klaar, zodat de verschillende IC's in de voetjes kunnen worden gedrukt. De op-amp's en het ene TTL-IC doen niet moeilijk. Alleen het generator-IC XR-2206 vraagt een speciale voorbewerking. Bij het experimenteel opzetten van de schakeling bleek dat het IC behoorlijk warm wordt, zeker als de stuurstroom uit pen 7 maximaal is bij het opwekken van de hoogste frequenties uit iedere band. Dat had nare gevolgen op de frequentiestabiliteit. De drift was erg groot en het duurde minuten vooraleer de generator een stabiele uitgangsfrequentie opwekte. Gelukkig bleek koeling van het IC met een speciaal daarvoor in de handel zijnde koelplaatje de drift aanzienlijk te reduceren. Niets aan de hand dus, even koelblikje op het IC monteren en hup, in de print. Helaas zijn de 16-pins IC-koelers allemaal veel te hoog, hetgeen het op de juiste maat zagen van dit blokje aluminium tot consequentie heeft. Eenvoudige zaak als je de beschikking hebt over een bankschroef. Is dat niet het geval, berg je dan maar! Een tweede probleem is dat de bevestigingsbeugel, waarmee koelplaatje en IC aan elkaar worden verankerd, niet meer past. Maar gelukkig bestaan er tegenwoordig ijzersterke lijmen (cyanoacrylzuuresters) zoals Bison's Super-lijm, waarmee ook dit probleem kan worden opgelost. De beste methode is in het midden van het koelplaatje een uiterst geringe hoeveelheid warmtegeleidende pasta aan te brengen en dit hoopje wit spul aan beide zijden te larderen met een druppeltje van de hogergenoemde lijm. Nadien het IC met één snelle beweging op het koelplaatje drukken en klaar is kees! Oh ja, let u voor u dat doet even op de plaats van het markeringsholletje in de bovenzijde van het IC. Als u dat niet doet, dan is het onmogelijk na de bevestiging van koelplaat op IC na te gaan hoe het geheel in de print moet worden geduwd.

Afregelen

Elf instelpotentiometers

De functiegenerator herbergt niet minder dan 11 instelpotentiometertjes, zo-

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

dat het afregelen van de schakeling een waar festijn belooft te worden.
Het lijkt niet overbodig deze paragraaf in te leiden met een overzicht van de functie van deze elf afregelelementen.

Overzicht

- R8
  stelt de frequentie-omvang van een sweep in.
- R15
  regelt de startfrequentie van een sweep.
- R42
  ijkt de minimale frequentie op de frequentieschaal.
- R45
  ijkt de maximale frequentie op de schaal.
- R49
  onderdrukt het gelijkspanningsniveau van de driehoeksspanning.
- R52
  doet hetzelfde bij de sinusspanning.
- R55
  regelt de amplitude van de driehoeksspanning.
- R56
  doet hetzelfde bij de sinusspanning.
- R58
  stelt de symmetrie van de driehoeksspanning in.
- R59
  minimaliseert de vervorming van de sinusspanning.
- R63
  regelt de amplitude van de vierkantgolfspanning.

Opmerkingen

Zoals reeds in de inleiding gesteld, moet men over een oscilloscoop beschikken, terwijl het bezit van een digitale universeelmeter weliswaar niet onontbeerlijk, maar wel handig is. Voor het ijken van frequentieschaal is een digitale frequentiemeter uiteraard een noodzaak.
Vooraleer het apparaat kan worden afgeregeld, moeten de twee printen provisorisch worden verbonden door middel van zes draadjes.

Voorbereidingen

Nog niet inschakelen, want eerst moeten de bedieningsknoppen in een bepaalde stand worden gezet.

- Sweep: 10 s
- Sweep mode: lin
- Audio: willekeurig
- Multiplier: x 1 kHz
- Mode: man
- Output: triangle
- Frequency: middenstand (ongeveer 1 kHz)
- Amplitude: maximaal
- Attenuator: 5 V
- Digital output: willekeurig

Alle instelpotentiometers kunnen in hun middenstand staan.
Sluit de oscilloscoop en een gelijkspanningsvoltmeter (10 V gebied) aan op de lineaire uitgang van het apparaat. Schakel de voedingsspanning in. Er moet nu een (al dan niet) vervormde driehoek op het scherm verschijnen. Laat het apparaat een tiental minuten opwarmen en start vervolgens de afregelprocedure.

Gelijkspanning compenseren

Allereerst gaan we de gelijkspanning, die naar alle waarschijnlijkheid op de uitgang aanwezig is, compenseren. Deze gelijkspanning kunnen we aflezen op de gelijkspanningsmeter, die immers zal reageren op het door de DC-component veroorzaakte verschil in grootte tussen de positieve en negatieve amplitude van het uitgangssignaal. Een opmerking:

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

hoewel de kans erg groot is dat de meter slechts enige tienden van een volt aanwijst, mag men de gevoeligheid van de meter niet opvoeren. Naast de geringe gelijkspanning staat er immers een forse driehoek op de klemmen van de meter! Een digitale meter biedt hier uiteraard vele voordelen! Verdraai de instelpotentiometer R49 tot de meter 0 V aanwijst.

Zaagtandspanning instellen
Vervolgens gaan we de top-tot-top waarde van de driehoek instellen op 15 V, hetgeen we doen door het verdraaien van R55, aan de hand van het prentje op de scoop. Eventuele asymmetrie verhelpen we door het instellen van R58. Deze drie genoemde afregelingen beïnvloeden elkaar enigszins, zodat het zaak is de procedure enige malen te herhalen.

Sinusspanning instellen
Nadien kunnen we onze aandacht richten op de sinusoidale uitgangsspanning. De output schakelaar wordt in de stand sine geschakeld, de scoop en de meter blijven op hun plaats. De gelijkspanning op de uitgang wordt weggedraaid met de instelpotentiometer R52. Nadien kunnen we de sinusvorm op minimale vervorming instellen door middel van R59. Dat is niet zo eenvoudig als het lijkt, want kunt u een vervormde van een onvervormde sinus onderscheiden? Wie een sinusgenerator ter beschikking heeft kan natuurlijk werken met Lissajous-figuren. De uitgang van deze generator wordt aangesloten op de horizontale ingang van de scoop. De frequentie van deze hulpgenerator wordt zo ingesteld, dat de bekende ellipsvorm op het scherm verschijnt. Vervormingen zijn nu in ieder geval gemakkelijker op te sporen dan bij de sinusvorm.

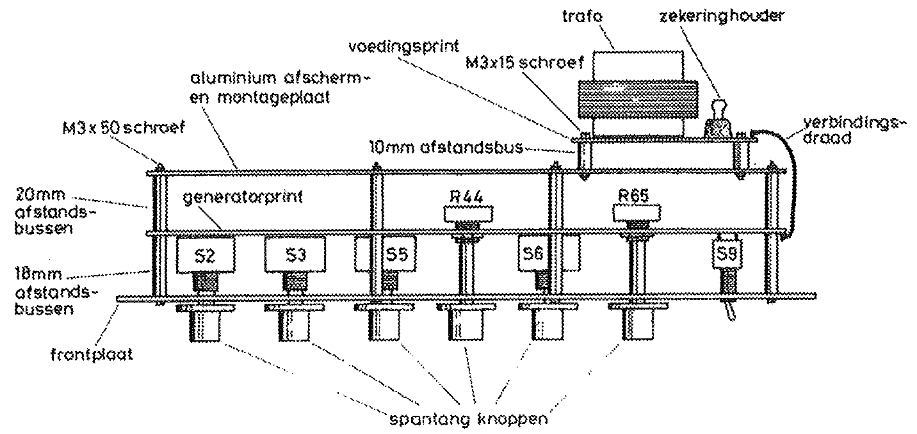
Nadien wordt de tijdbasis opnieuw ingeschakeld en kan met instelpotentiometer R56 de top-tot-top waarde van de sinus worden afgeregeld op 15 V. Men kan natuurlijk net zo goed de aangesloten meter instellen op wisselspanning en de grootte van de sinus precies instellen op 5 V effectieve waarde.

Opmerking
De schakeling rond het XR-2206 IC is nu afgeregeld en men doet er goed aan dit ritueel nog eens te herhalen, zodat eventuele onderlinge beïnvloeding van de zes afregelorganen wordt gecompenseerd.

Vierkantspanning afregelen
De output schakelaar gaat naar de square stand, zodat een mooie vierkantsgolf op het scherm verschijnt. De top-tot-top waarde van deze spanning wordt met behulp van R63 gelijk gemaakt aan de top-tot-top waarde van de sinus, ongeveer 15 V.

Ijken van de frequentieschaal
De afregeling van de verschillende golfvormen is klaar, zodat we onze aandacht kunnen richten op het ijken van de frequentieschaal.
Deze ijking gaat natuurlijk zonder problemen als men de beschikking heeft over een digitale frequentiemeter. Zo niet, dan kan men met de reeds genoemde Lissajous-methode een heel eind komen. Wel moet men dan een geijkte sinusgenerator op de werkbank tentoon stellen.
Draai de potentiometer R44 in uurwijzerzin. Regel de frequentie met R42 af op 200 Hz. Verdraai R44 naar de tweede uiterste stand. Stel de frequentie in op 2 kHz, door middel van R45.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-33: Een schematische voorstelling van de samenbouw van de twee printen en het afschermingsblik.

Op het ijken van de tussenliggende waarden wordt in de volgende paragraaf ingegaan.

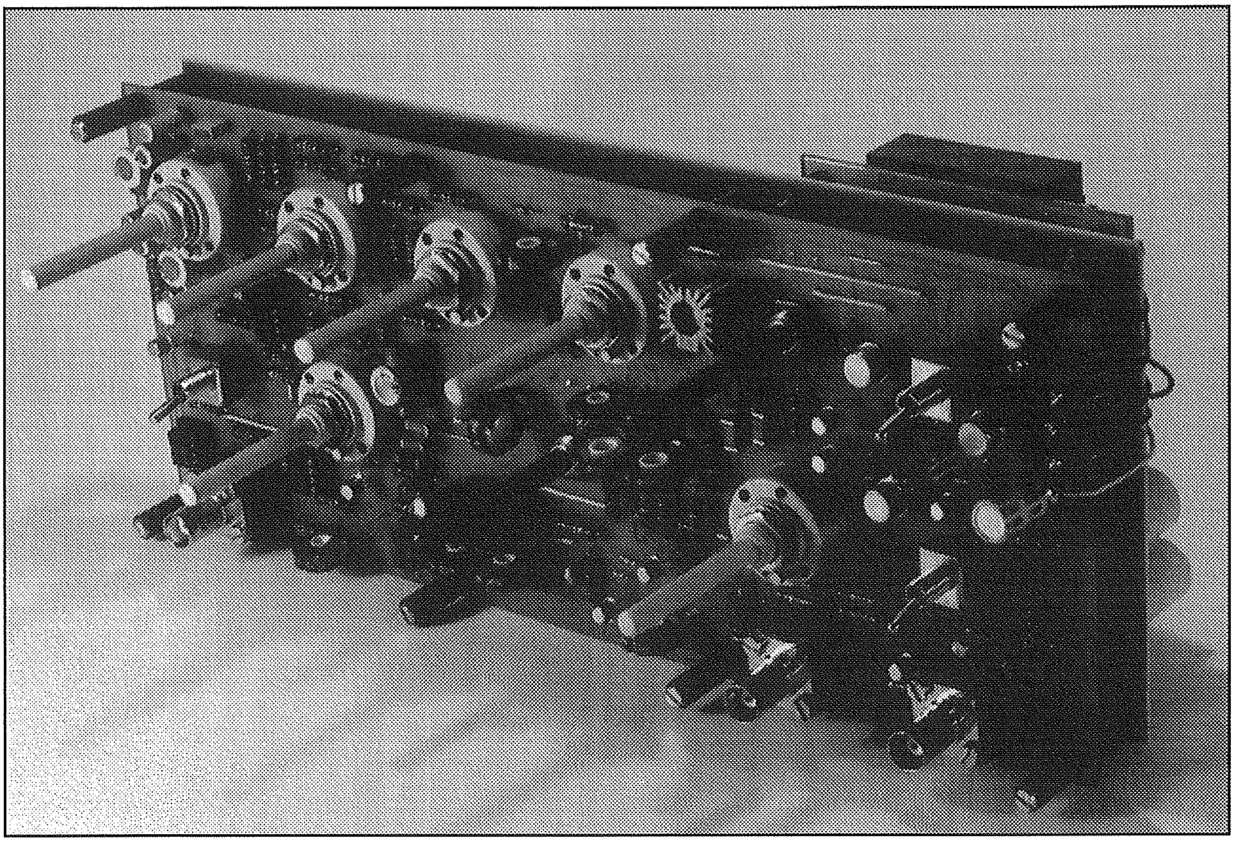
Afregelen van de sweeper
Tot slot komt het afregelen van de sweepschakeling aan de orde. Zet de uitgangsschakelaar op sinus en de mode knop op sweep. Sluit de collector van T2 kort naar de -12 V voedingsspanning, zodat de uitgangsfrequentie constant blijft op de minimale waarde van het sweepgebied. Regel deze frequentie met R15 af op 200 Hz.
Verwijder de kortsluiting en zet de sweepsnelheid op 10 ms.
Meet met de oscilloscoop de juiste waarde van de -12 V voedingsspanning op. Verdraai de positieregelaar van dit meetinstrument, tot de gemeten spanning samenvalt met een referentielijn op het scherm. Meet nu de spanning op de uitgang van IC4 en verdraai R8, tot de onderste toppen van de zaagtandspanning samenvallen met de eerder genoemde referentielijn. Deze toppen zitten dan op het -12 V niveau, wat nu net de bedoeling is.

Eindmontage

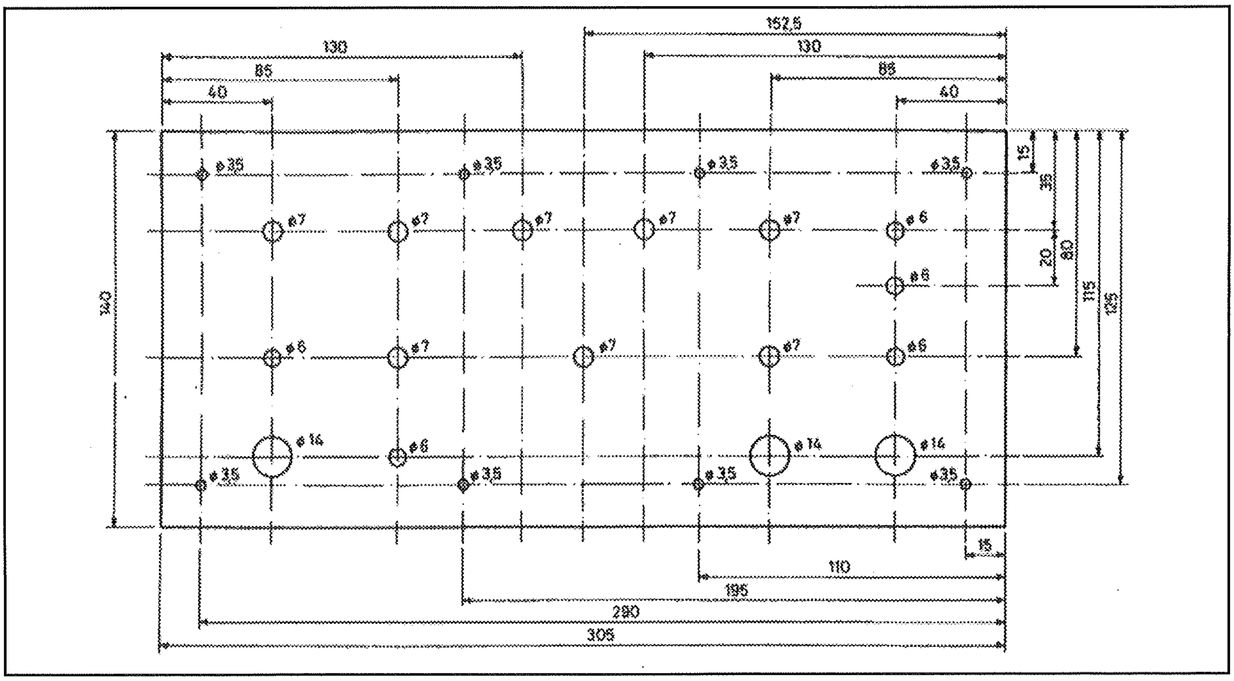
Laatste stappen
De generator is klaar voor gebruik, zodat we ons hoofd kunnen gaan breken over de samenbouw en de inbouw in een kast.
De twee printen worden losgekoppeld, zodat ze volgens de figuren 4/7.42-33 en -34 definitief kunnen worden samengebouwd.
Beide printen zitten aan weerszijden van een aluminium montageplaat, met dezelfde afmetingen als de generatorprint. Door middel van acht M3x50 boutjes en evenveel afstandsbussen wordt het geheel bevestigd op de frontplaat.

De frontplaat van het apparaat
Die frontplaat, ja dat is een probleem! Niet zozeer het feit dat er 32 gaatjes van diverse diameters in een stuk aluminium moeten worden geboord, zal de hobbyist afschrikken. Figuur 4/7.42-35 biedt daarvoor immers een uitstekende richtlijn. Maar hoe krijg je de hoogstnoodzakelijke beschrifting netjes op dat aluminium?

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-34: De unieke functiegenerator is klaar voor inbouw in een behuizing.



Figuur 4/7.42-35: De boorschets voor de frontplaat van de functiegenerator.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

Er zijn verschillende oplossingen. Wel moet meestal een keurig ontwerpje worden getekend op transparant papier. Dat kan met diverse computerprogramma's, maar wij wijzen hier tóch op Front Designer van Abacom, een programma dat speciaal werd ontwikkeld voor het ontwerpen van professionele frontplaten. Nadere gegevens over dit programma treft u aan op www.vego.nl/abacom. Het model van figuur 4/7.42-2 kan bij deze met de nodige zorg uit te voeren karwei als voorbeeld dienen.
Het grote probleem is dat de frontplaat 30,5 cm breed is en dat u zo'n ontwerp dus niet op uw A4 printer kunt afdrukken. Maar er zijn tegenwoordig voldoende copy-shop's die voor niet al te veel geld een TIF-ontwerp op hun A3 printer willen afdrukken op transparante folie. Nadien kan men dit ontwerp overbrengen op fotogevoelige aluminiumfolie, op dezelfde manier als waarop men een print maakt. Deze folie is voorzien van een zelfklevende laag en kan na de ontwikkeling en het fixeren op de voorgeboorde frontplaat worden bevestigd.

Alternatieve methoden voor het maken van de frontplaat

Een tweede manier is het rechtstreeks op het aluminium aanbrengen van afstrijksymbolen, -letters en -cijfers. De letters kleven echter niet zo best op deze gladde ondergrond, zodat het aan te raden is eerst een dunne laag transparante lak aan te brengen. Na de klus moeten de letters en lijnen uiteraard met enige lagen van dezelfde lak worden gefixeerd.
Een derde manier vraagt een bezoekje aan een offsetdrukker. Deze ambachtslieden hebben allemaal een zogenoemde reproductiecamera en met dit apparaat kan het ontwerp op transparant papier worden omgevormd tot een fotografische opname op helder wit, mat glanzend papier. Deze "foto" kan zonder meer met spuitbuslijm op de voorgeboorde frontplaat worden geplakt.

De frequentieschaal

Bij het prototype is de frequentieschaal niet op het frontplaatje aangebracht, maar op een schijf van 6 cm diameter, die op de knop van de potentiometer R44 is gelijmd.
Deze schaal wordt geijkt met behulp van een digitale frequentiemeter, waarbij zal blijken dat de schaalindeling zo goed als lineair is.

De behuizing

Het maken van een kast rond onze functiegenerator is niet zo'n groot probleem. Tegenwoordig heeft de beter gesorteerde onderdelenhandel aluminium hoekprofielen, waarin aluminium platen passen. Met dit systeem kan men erg snel een professioneel ogende behuizing in elkaar schroeven.

Testen

Eigen ontwerp getest

Wij kunnen ons voorstellen dat de adspirant nabouwer wel eerst even wil weten wat hij van het apparaat kan verwachten. Ieder ontwerp heeft immers zijn eigen begrenzingen en slechte eigenschappen en vandaar dat we in deze paragraaf ons ontwerpersuniform uittrekken en ons hullen in het plunje van de onbarmhartige tester.
Nadat de schakeling op enige experimenteerprinten was opgezet en de print ontworpen, hebben wij het prototype opgebouwd met een complete set nieuwe onderdelen en het apparaat, dat ove-

rigens dadelijk functioneerde, op een aantal belangrijke punten getest.
In de eerste plaats kwam een nare eigenschap naar voren, die ons bij de spinneweb opbouw niet was opgevallen. Het resetten van de sweepspanning heeft een kleine invloed op de frequentie van het uitgangssignaal en op de gelijkspanningscomponent op die uitgang.
Als we de sweep-speed instellen op 10 ms en de generator gebruiken in de audio- of manual-mode, dan stellen we een lichte jitter op het uitgangssignaal vast. Remedie: stel bij manual- of audio-mode de sweep-speed steeds in op 10 s, dan heeft men van dit verschijnsel geen last.
Een tweede onvolmaaktheid is het feit dat de periode van de sweepspanning niet is gesynchroniseerd met de uitgangsspanning. De ene keer zal de sweep resetten op het moment dat de uitgangssinus maximaal is, de volgende keer als de uitgangsspanning door nul gaat, en zo verder. Het zal duidelijk zijn dat men op die manier geen stilstaand beeld van de sweep-uitgangsspanning op het scherm van een scoop krijgt. Dat is niet zo erg als het lijkt, omdat we bij sweep-toepassingen voornamelijk zijn geïnteresseerd in het verloop van de amplitude van het uitgangssignaal van een getest apparaat.
Nu naar de tests.

Frequentiestabiliteit
De frequentiestabiliteit interesseerde ons zeer, omdat bij het ontwerpen van het apparaat reeds gebleken was dat deze parameter niet zo best was, dit door de opwarming van het IC. De generator werd "koud" ingesteld op 1 kHz en het verloop van de uitgangsfrequentie werd opgetekend in functie van de tijd. Na twee minuten was de frequentie verlopen tot 992 Hz. Nadien varieerde deze grootheid zeer langzaam tussen de grenzen 992 Hz en 1.007 Hz.
Dezelfde test bij 2 kHz leverde een verloop tot 2.018 Hz op.
Nadien testten we de frequentie afwijking tussen de verschillende gebieden. De frequentie werd ingesteld op 1 kHz en de multiplierschakelaar werd omgeschakeld.
De gemeten frequenties:
- 11 Hz;
- 101 Hz;
- 10,013 kHz;
- 96,105 kHz.

Deze afwijkingen worden veroorzaakt door de toleranties van de condensatoren rond de gebiedenschakelaar.
De volgende meting gaf inzicht in de nauwkeurigheid van de audiofrequenties. De twaalf gemeten waarden:
- 20 Hz: 20 Hz;
- 37 Hz: 38 Hz;
- 70 Hz: 71 Hz;
- 131 Hz: 132 Hz;
- 246 Hz: 247 Hz;
- 460 Hz: 463 Hz;
- 864 Hz: 856 Hz;
- 1.619 Hz: 1.630 Hz;
- 3.032 Hz: 3.018 Hz;
- 5.682 Hz: 5.744 Hz;
- 10.648 Hz: 10.919 Hz.
- 20.000 Hz: 19.560 Hz;

De hoogste afwijking bedroeg 2,7 %, de gemiddelde procentuele fout bedraagt dus 1,13 %. Hetgeen zonder meer goed te noemen is.

Zuiverheid van de golfvormen
De zuiverheid van de golfvormen was het volgende aandachtspunt. Tot 20 kHz kunnen we hierover best tevreden zijn, zij het dat de toppen van de sinus een kleine piek vertonen. Dat is eigen aan

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

het principe van een functiegenerator, waarbij de sinus wordt gevormd uit de driehoeksspanning. In het hoogste frequentiegebied van 20 kHz tot 200 kHz blijft de sinusspanning op het oog zuiver, maar gaat de driehoek zeer sterk vervormen. Op het laatst blijft er niet veel meer over dan een zeer vervormde en scheve sinusvorm. Hetgeen overigens niet aan het ontwerp van de generator te wijten is, maar aan het generator-IC zelf!

Amplitude zuiverheid
Als laatste test werd de constantheid van de amplitude van de sinus opgemeten. Over het volledige audiogebied blijft de uitgangsspanning constant binnen 0,25 dB. In de manual-mode varieert de uitgangsspanning maximaal 1 dB, tussen 6 Hz (de onderste grens van de gebruikte mV-meter) en 20 kHz.

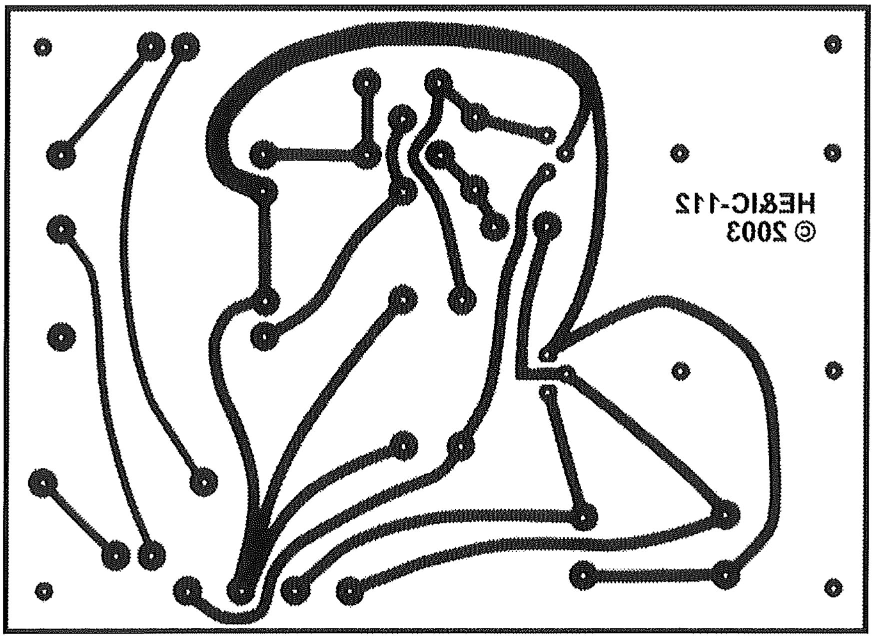
In het hoogste frequentiegebied stort de uitgangsspanning echter in elkaar.
Enige meetwaarden:
- 20 kHz: 0 dB;
- 64 kHz: -1 dB;
- 99 kHz: -2 dB;
- 128 kHz: -3 dB;
- 154 kHz: -4 dB;
- 185 kHz: -5 dB.

Conclusie

Besluitend kunnen we vaststellen dat de nabouw van deze functiegenerator een voor zijn prijs zeer goed meetapparaat oplevert, met prestaties en mogelijkheden die alleen worden geboden door veel duurdere apparatuur.
Enige extra's, zoals de digitale uitgang en de audio-mode, maken deze functiegenerator erg bruikbaar voor de dagelijkse praktijk in het elektronicalab.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-25: Het ontwerp van de voedingsprint.

HOE MAAKT U DEZE PRINT?

OPTIE 1: zelf maken

U scant deze pagina en drukt deze met een inkjet-printer af op A4 formaat op transparante folie. U knipt de print uit en belicht er de fotogevoelige printplaat mee.

OPTIE 2: via Internet

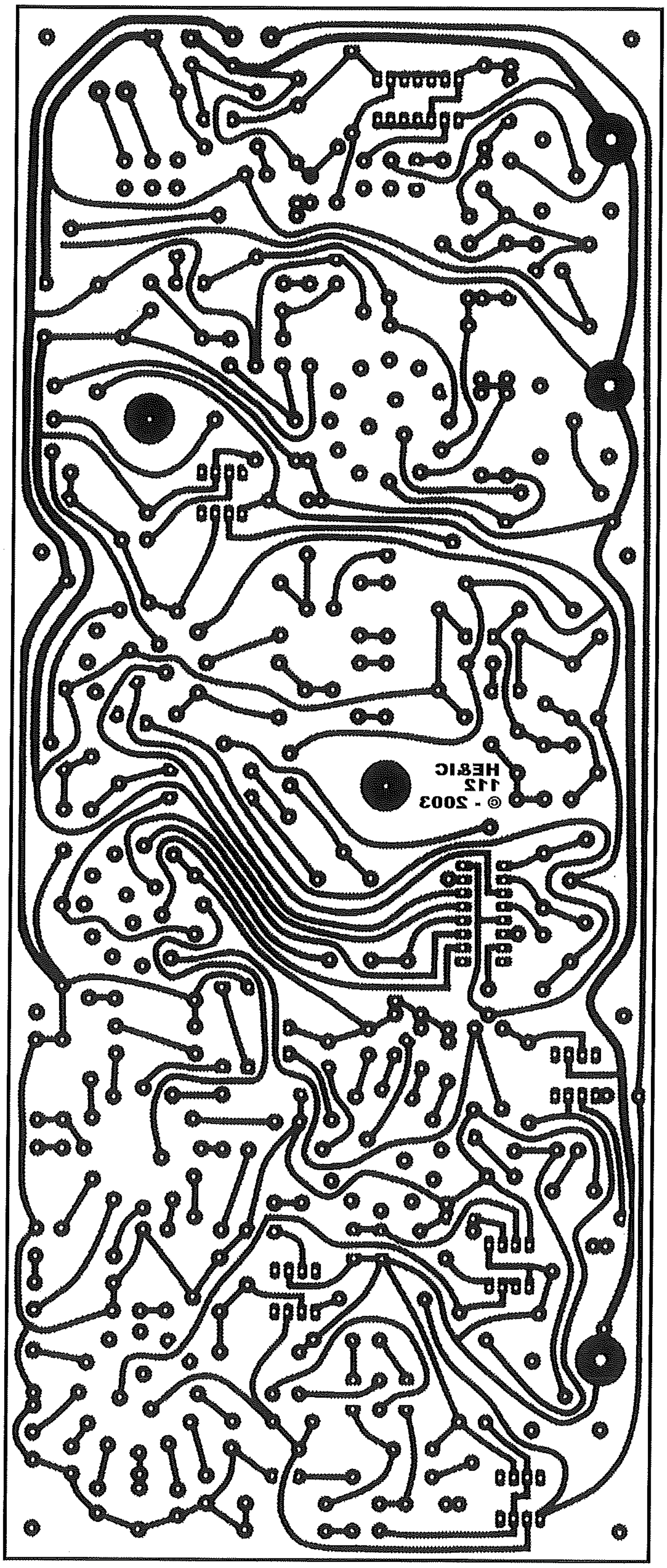
Op **www.hobbyelektronica.nu** selecteert u uit het linker menu de optie "Printservice". In het rechter venster selecteert u het hoofdstuknummer. U kunt nu de print als TIF-file downloaden. U opent deze file in een beeldbewerkingsprogramma en drukt deze met de op de Internet-pagina aangegeven afmetingen op transparante folie af. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

OPTIE 3: bestellen

U stuurt een **ONGEFRANKEERD** briefje naar Vego VOF, Antwoordnummer 30020, 6374 ED Landgraaf, met vermelding van het hoofdstuknummer. U krijgt per kerende post het printontwerpje op transparante folie **GRATIS** toegestuurd. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen



Figuur 4/7.42-28: De print van de generator. Let op! De ware afmetingen zijn 28,5 cm bij 12,0 cm.

7.42 Functiegenerator met opmerkelijke eigenschappen

4/7.43

Een universele analoge trainer

Inleiding

Ontdek de wereld van de lineaire integratie

Vaak zijn er in de diverse vakbladen apparaatjes beschreven, waarmee u de werking van digitale schakelingen op een eenvoudige manier kunt doorgronden. Vreemd genoeg is nog niemand op het idee gekomen een soortgelijk apparaatje te ontwikkelen, waarmee u operationele versterkers en andere geïntegreerde analoge schakelingen grondig kunt onderzoeken. Operationele versterkers bieden veel immers meer, veel meer dan de bekende standaard schakelingen als inverterende en niet-inverterende versterkers. Wat vindt u bijvoorbeeld van een flip-flop met een op-amp? Of een EN-poort? Weet u hoe een differentiator met op-amp werkt en wat u er mee kunt doen? Nee? Wel, dan is een analoge trainer misschien toch niet zo'n overbodig ding.

En als we dan bovendien dat apparaat met een vooruitziende blik ontwerpen en de nodige zorg aan het uiterlijk besteden, dan wordt zo'n trainer een pronkstuk van het laboratorium of het schoollokaal, waarmee we niet alleen alle toepassingen van operationele versterkers kunnen uitpluizen, maar die net zo goed gebruikt kan worden voor een eerste kennismaking met misschien volledig onbekende schakelingen, zoals Norton-versterkers, OTA's, geïntegreerde logaritmische versterkers en multipliers.

Het concept van de analoge trainer

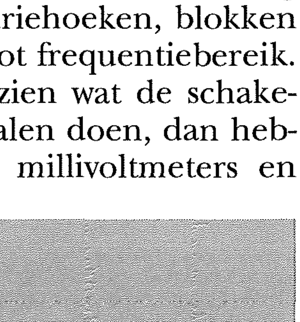
Analoge schakelingen werken, per definitie, met analoge spanningen. Het volstaat dus niet een aantal wel-signaal/geen-signaal schakelaartjes op te nemen en een aantal LED'jes voor het uitlezen van de digitale spanningen, zoals bij digitale trainers.

In principe moeten we voor het uittesten van analoge schakelingen een breed gamma van signalen ter beschikking hebben: sinussen, driehoeken, blokken en dat over een groot frequentiebereik. Willen we kunnen zien wat de schakelingen met die signalen doen, dan hebben we voltmeters, millivoltmeters en

LEES OOK:

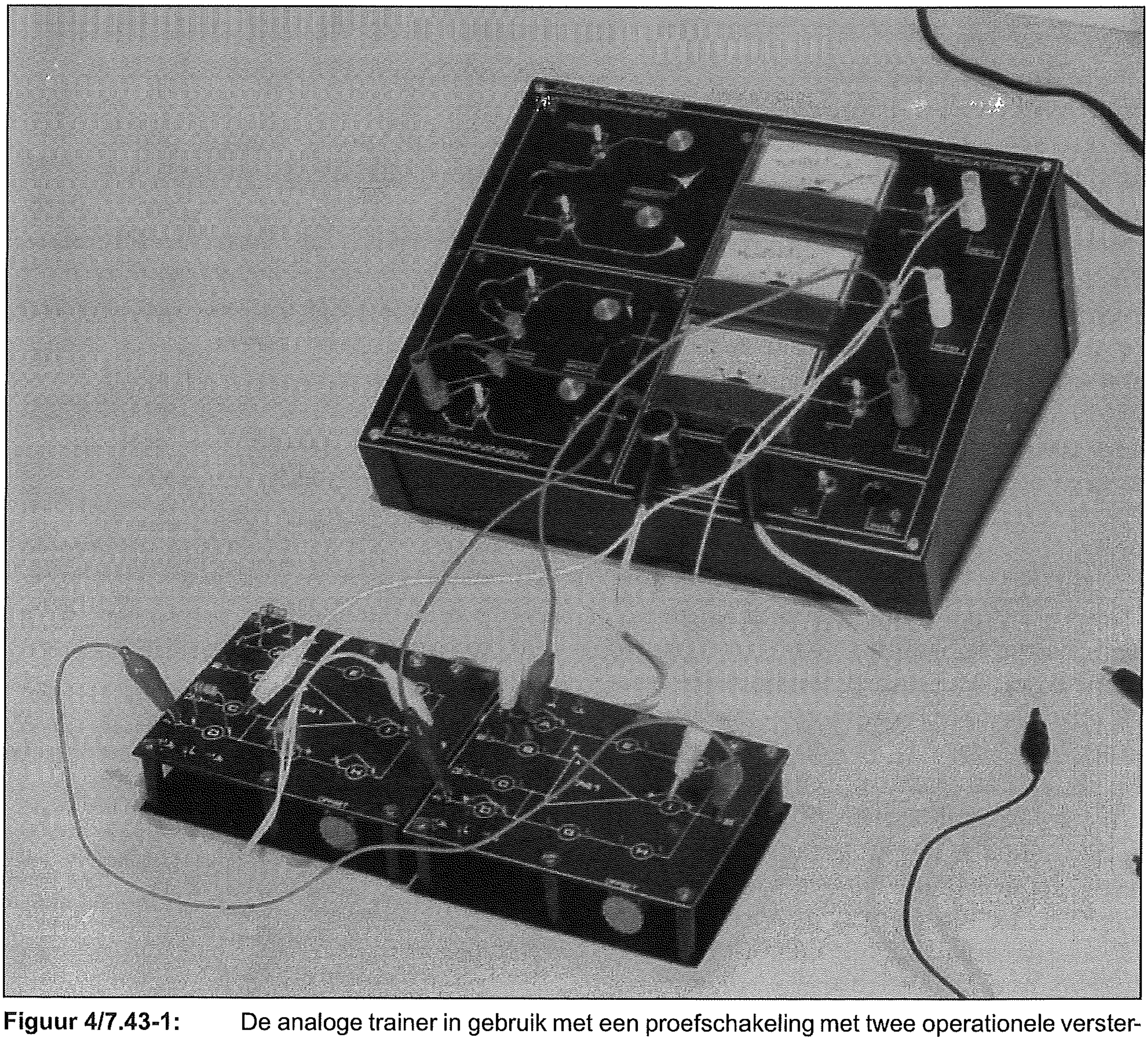
Hoofdstuk 3/12

Hoofdstuk 4/7.21



7.43 Een universele analoge trainer

een oscilloscoop nodig. Kortom, we moeten een compleet laboratorium opbouwen.
Toch kan het veel eenvoudiger en goedkoper. Als we ons voornamelijk in de basiswerking van geïntegreerde analoge schakelingen willen verdiepen, dan kunnen we net zo goed op een andere manier werken.
Met potentiometers wekken we gelijkspanningen op, regelbaar in het nuttige werkingsgebied van de schakeling. Door aan die potentiometers te draaien kunnen we zeer laagfrequente sinussen, blokken en driehoeken simuleren. Een scoop is dan overbodig om te kijken hoe de signalen door de te testen schakeling beïnvloed worden. We kunnen net zo goed enige simpele analoge meterschakelingetjes ontwerpen en op die draaispoel meetinstrumentjes lezen we de werking van de schakeling af. Hebben we niet zo'n zin om voortdurend aan potentiometers te draaien, dan kunnen we



Figuur 4/7.43-1: De analoge trainer in gebruik met een proefschakeling met twee operationele versterkers.

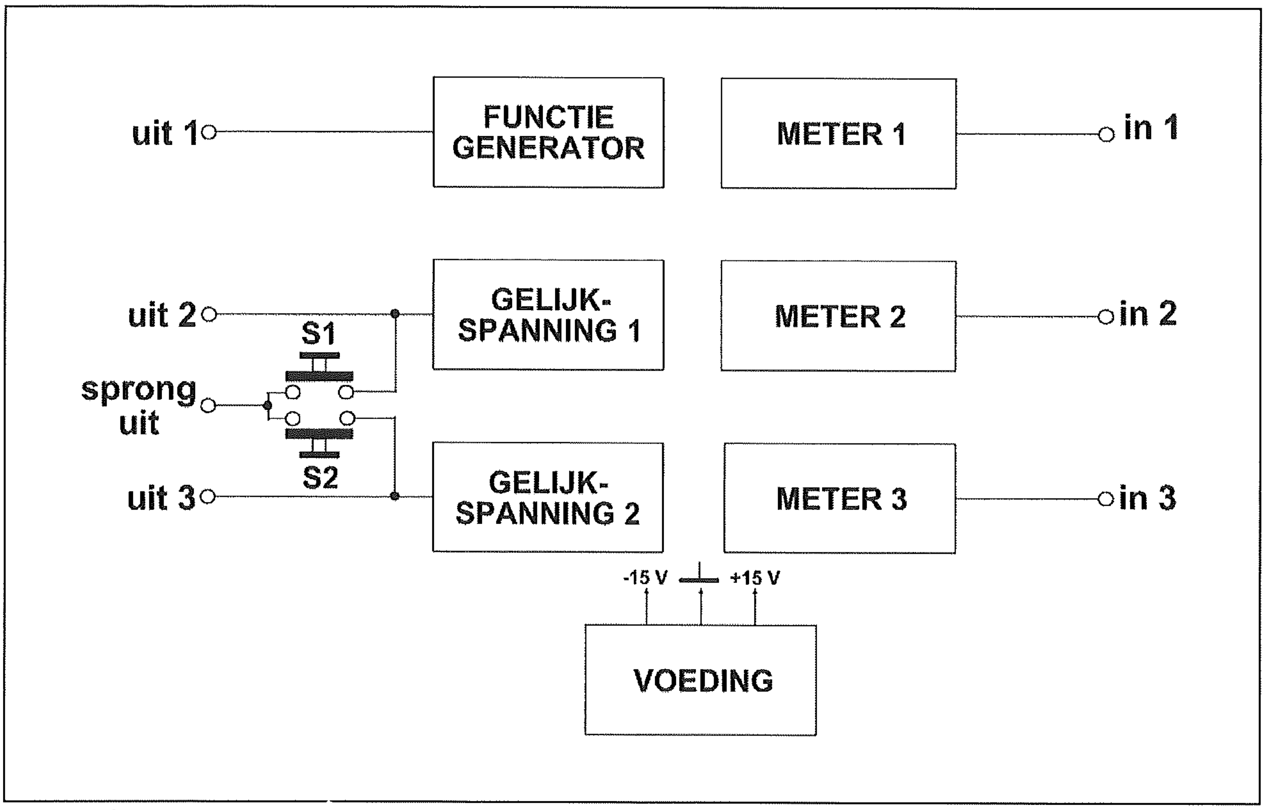
een eenvoudige functiegenerator inbouwen, die dat werkje als het ware voor ons opknapt. Hij wekt zeer trage driehoeken en blokken op.
Hiermee is het silhouet van de trainer aan de horizon verschenen. Natuurlijk moeten we op een of andere manier de proefschakelingen rond de operationele versterker kunnen opbouwen. Dat kan op een proefprintje, maar veel professioneler en overzichtelijker gaat dat als we daarvoor ook een speciaal printje ontwerpen, volledig aangepast aan het onderdeel dat we onder handen nemen.
Het resultaat van die overpeinzingen is voorgesteld in figuur 4/7.43-1, waar de analoge trainer gebruikt wordt met twee speciaal voor de 741 op-amp ontworpen proefprintjes.

Wat is de bedoeling?
Het nabouwen van deze universele analoge trainer is een vrij dure grap en we kunnen ons voorstellen dat u eerst wel wilt weten wat wij er mee van plan zijn. Wel, allereerst gaan we in dit hoofdstuk de bouw van het apparaat uitvoerig toelichten, zodat ook hobbyisten met niet veel ervaring in het nabouwen van grote projecten er raad mee weten. Nadien volgen in deze en volgende aanvullingen van dit naslagwerk in deel 3/97 een twintigtal kleine hoofdstukken, waarin telkens één fundamentele basisschakeling rond de op-amp onder handen wordt genomen.
Hier volgt het lijstje:
- inleiding over de op-amp;
- de op-amp als buffer;
- de op-amp als omkeerversterker;
- de op-amp als niet-inverterende versterker;
- de op-amp als inverterende versterker;
- de op-amp als mengversterker;
- de op-amp als rekenschakeling;
- de op-amp als differentiator;
- de op-amp als integrator;
- de op-amp als trapspanningsgenerator;
- de op-amp als comparator;
- de op-amp als comparator met hysteresis;
- de op-amp als functiegenerator;
- de op-amp met niet-lineaire terugkoppeling;
- de op-amp als vensterdiscriminator;
- de op-amp als slope detector;
- de op-amp als ideale diode;
- de op-amp als dubbelfazige gelijkrichter;
- de op-amp als nauwkeurige gelijkrichter;
- de op-amp als topdetector;
- de op-amp als ideale topdetector;
- de op-amp als clampschakeling;
- de op-amp als sinusgenerator;
- de op-amp als anti-rimpel filter;
- de op-amp als vierkantsgolf generator;
- de op-amp als flip-flop;
- de op-amp als vertrager;
- de op-amp als monostabiele multivibrator;
- de op-amp als poort;
- de op-amp als tiptoets;
- geen einde, maar hopelijk het begin.

Al deze interessante experimenten kunt u met alleen de universele analoge trainer uitvoeren, overige meetapparatuur is volstrekt overbodig. Verder houden we het steeds op een louter fysische werkingsverklaring, wiskundige abracadabra blijft achterwege.

Kennismaking met de universele analoge trainer
Figuur 4/7.43-2 geeft het blokschema van deze universele analoge trainer.

7.43 Een universele analoge trainer



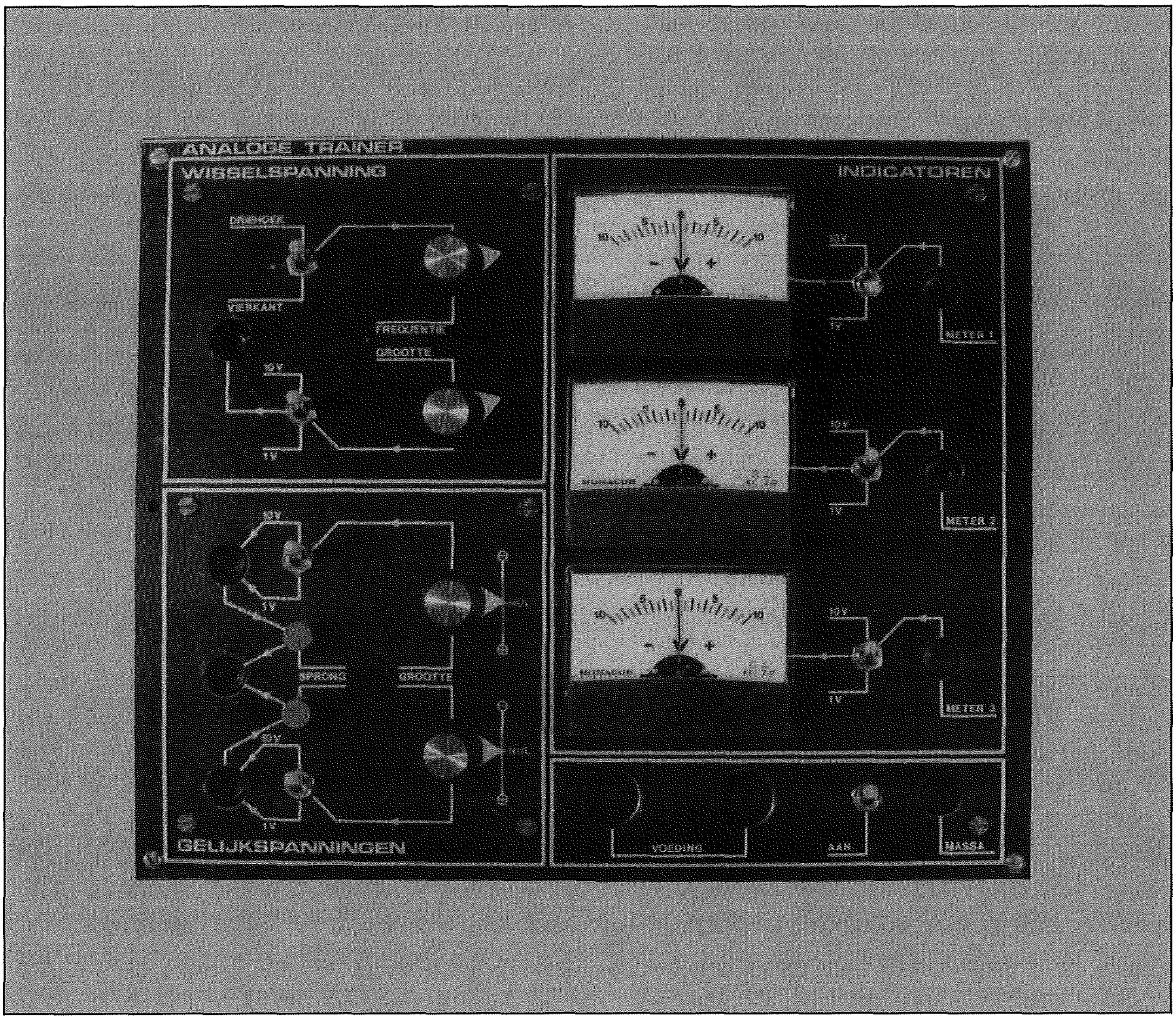
Figuur 4/7.43-2: Het blokschema van de universele analoge trainer.

De werking en functie van de verschillende blokken worden besproken aan de hand van figuur 4/7.43-3, een overzicht van de bedieningsorganen van de trainer.

Links boven zit het blok “Wisselspanning” dat het wisselspanningstestsignaal opwekt met de functiegenerator. Nu moet u dat begrip “wisselspanning” niet al te ruim interpreteren. De schakeling wekt, naar uw keuze, een driehoek- of vierkantspanning op met een periodeduur van één seconde tot twee minuten! Wat daar het nut van is? Wel, bij analoge schakelingen komt het vaak voor dat we de zogenaamde transferkarakteristiek moeten opnemen, dat is de relatie tussen uit- en ingangsspanning. We laten dan de ingangsspanning langzaam stijgen en voor iedere waarde van die spanning lezen we op een meter de grootte van de uitgangsspanning af. Dit kunnen we met de hand doen, door het verdraaien van een potentiometer. Door die lange periodeduur van de in de trainer ingebouwde functiegenerator kunnen we dat proces echter automatiseren. We sturen de traagste driehoek in de te testen schakeling en sluiten een voltmeter aan op de uitgang van de generator. De spanning varieert dan zo langzaam van waarde, dat we steeds het verband tussen in- en uitgangsspanning op de meters kunnen aflezen.

Hiermee is meteen de vraag beantwoord waarom we “ouderwetse” analoge naaldinstrumenten hebben ingebouwd. Op dergelijke meters kunt u heel goed het verloop van een spanning in functie van de tijd aflezen. U ziet of de meternaald “stijgt” of “daalt”, de interpretatie van een stijgende of dalende spanning.

7.43 Een universele analoge trainer



Figuur 4/7.43-3: Het bedieningspaneel van de universele analoge trainer.

Op moderne digitale meters is een dergelijk in de tijd variërend proces absoluut niet te volgen.
De twee onderste knoppen van het functiegeneratorblok dienen voor het instellen van de uitgangsspanning. Met de omschakelaar kunt u twee bereiken instellen, namelijk 1 V en 10 V. In het eerste bereik varieert de driehoek maximaal tussen +1 V en -1 V. Door middel van de rechter potentiometer “Grootte” kunt u de uitgangsspanning continu regelen tussen 0 V en de maximale waarde.

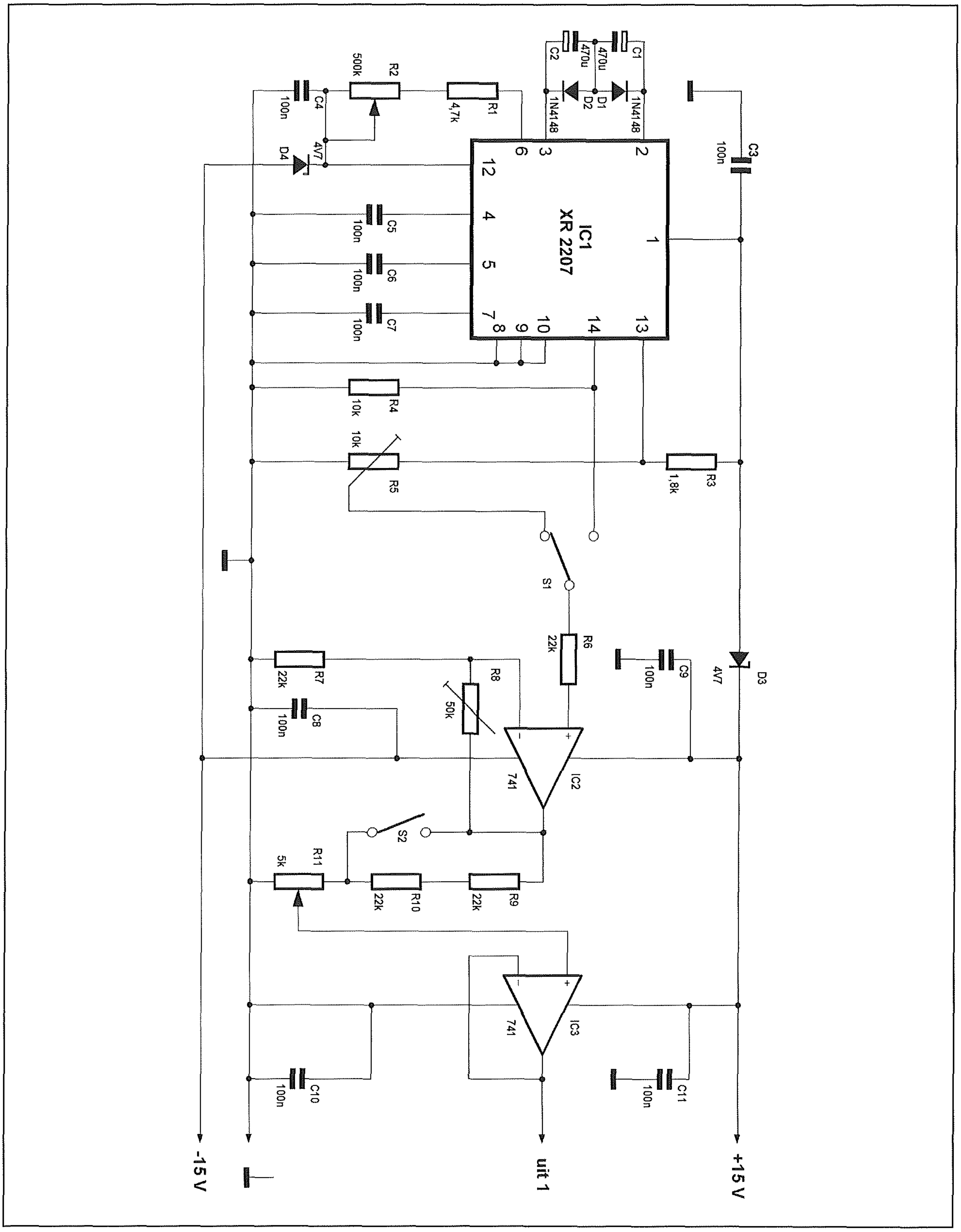
Vaak hebben we bij het experimenteren met analoge schakelingen hulp- of instelspanningen nodig. Die putten we uit het blok “Gelijkspanningen”. Met deze schakeling kunnen we twee gelijkspanningen opwekken, die we kunnen instellen tussen -10 V en +10 V, in twee gebieden. Het ene gaat van -1 V tot +1 V, het andere van -10 V tot +10 V.
Dit blok heeft nog een derde uitgang, waaruit we een spanningssprong kunnen putten. Een spanningssprong is een snelle overgang van één spanningswaar-

de naar een andere spanningswaarde. Daartoe zijn twee drukknopjes opgenomen, die de uitgangen van de gelijkspanningsbronnen doorverbinden met de "Sprong"-uitgang. Als de drukknoppen in rus t zijn, staat er op die uitgang 0 V. Bij het bedienen van een van de knoppen springt de uitgang opeens naar de waarde van een van beide gelijkspanningen. Dergelijke sprongspanningen zult u bij het experimenteren (zie deel 3/97) met het apparaat vaak nodig hebben.
Een op-amp heeft twee ingangen en een uitgang. Het zou dus handig zijn als we steeds drie verschillende spanningen tegelijkertijd zouden kunnen observeren en dit zowel positief als negatief. Dat kan, met de drie kleine draaispoelmetertjes, ingebouwd in het blok "Indicatoren". Ze hebben de nul in het midden, zodat we zowel positieve als negatieve spanningen kunnen meten, zonder het omdraaien van schakelaars of omprikken van draadjes. Door middel van schakelaars kunnen we voor iedere meter een van beide meetgebieden inschakelen: ±1 V of ±10 V. De ingangsimpedantie van de meters is erg hoog, 20 MΩ, zodat ze nooit de werking van een schakeling kunnen verstoren. Anderzijds zijn de uitgangsimpedanties van de drie spanningsproducerende schakelingen erg laag, zodat ook zij geen invloed hebben op de eigenschappen van de te testen schakelingen.
Tot slot herkennen we onder de meters een algemeen blok, met een massa-aansluiting, de aan/uit schakelaar en twee driepolige connectoren. Op deze twee laatste onderdelen staan de twee voedingsspanningen (+15 V, massa en -15 V) ter beschikking voor het voeden van de testschakelingen.

De schakelingen

De schakeling van de functiegenerator
De praktische schakeling van de functiegenerator is getekend in figuur 4/7.43-4. In principe kunnen we driehoeken en blokken erg eenvoudig opwekken met operationele versterkers. Daartegenover staat dat er speciale IC's in de handel zijn, die niets liever doen dan ons de gevraagde spanningen serveren. Vandaar dat we zo'n schakeling hebben toegepast, namelijk de XR2207. Een oud beestje, maar nog steeds goed verkrijgbaar en als het ware geschapen voor deze klus.
Dit IC heeft twee uitgangen. Op de ene (pen 13) staat een vierkantgolf ter beschikking, op de andere (pen 14) een driehoekspanning. Beide signalen hebben dezelfde frequentie. De driehoek kan zonder meer afgetakt worden. Wil de vierkant echter aan de uitgang verschijnen, dan moet er een extra weerstandje aangebracht worden tussen de positieve voeding en de pen nummer 13.
Het IC heeft erg veel mogelijkheden, die we hier niet gebruiken. Vandaar dat een aantal ingangen ofwel rechtstreeks aan de massa ligt (pennen 8 en 9) ofwel via een ontkoppelingcondensator (4, 5 en 7).
De frequentie wordt bepaald door de waarde van de condensator tussen de aansluitingen 2 en 3 en door de grootte van de weerstand tussen aansluiting 6 en de negatieve voeding. Voor het genereren van de noodzakelijke zeer lage frequentie hebben we een zeer grote condensatorwaarde nodig. We ontkomen dus niet aan het gebruik van een elco. Het probleem daarbij is echter dat de polariteit van de spanningen op pennen 2 en 3 wisselt.

7.43 Een universele analoge trainer



Figuur 4/7.43-4: De schakeling van de functiegenerator.

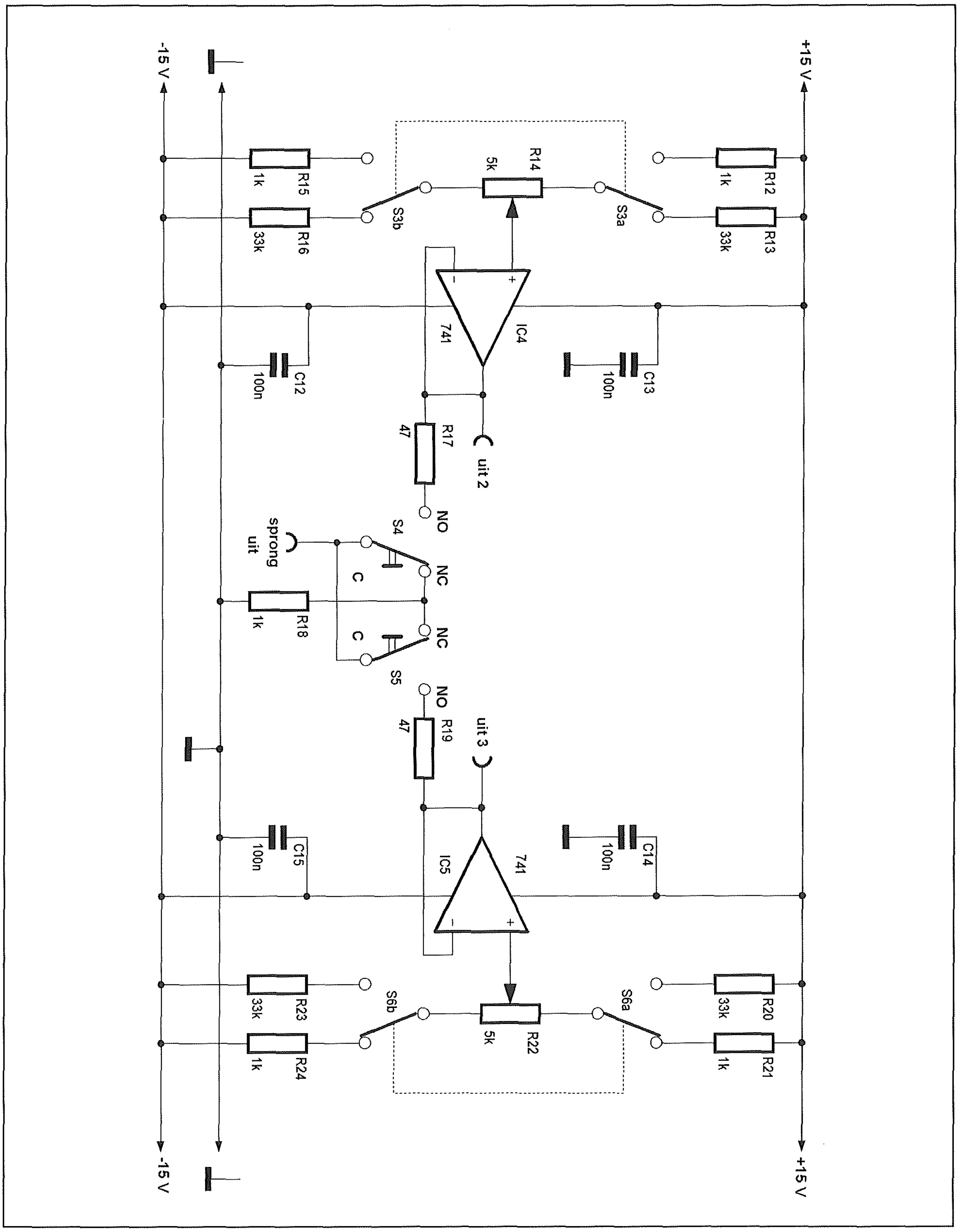
Een elco wordt dus gedurende een halve periode verkeerd gepolariseerd. Gelukkig bestaat er een eenvoudig truukje om met elco's toch een niet gepolariseerde condensator op te bouwen.
Zet twee elco's van dezelfde waarde in serie, met plus aan plus of min aan min en overbrug beide onderdelen met een diode. Als pen 2 positief is ten opzichte van pen 3, dan gaat de diode D2 geleiden en wordt condensator C1 tussen de genoemde aansluitingen opgenomen. Als de polariteit van de spanningen wisselt, dan gaat D2 sperren en D1 geleiden. C1 wordt nu kortgesloten door de geleidende diode en is niet van tel. Zijn rol wordt nu overgenomen door C2.
De frequentiebepalende weerstand is opgebouwd uit de serieschakeling van R1 en R2 en heeft een regelbereik van 1 op 100. R1 legt de maximale frequentie vast, R2 de minimale.
De schakeling mag gevoed worden met spanningen van maximaal ±13 V. Nu hebben we om diverse redenen gekozen voor een symmetrische voedingsspanning van 15 V. Vandaar de twee zenerdioden D3 en D4 in de voedingsaansluitingen van het IC. De voeding wordt dus gereduceerd tot de veilige waarde van ±10 V. De condensatoren C3 en C4 zorgen voor een extra ontkoppeling van de voeding.
Door middel van schakelaar S1 kunnen we ofwel de driehoek, ofwel de blok naar de rest van de schakeling leiden. Nu wil het geval dat het IC een driehoek levert met een amplitude gelijk aan ongeveer de helft van de amplitude van de blok. We willen beide signalen even groot, vandaar dat de blok door middel van een spanningsdeler (het instelpotentiometertje R5) aan de schakelaar wordt aangeboden.

De volgende trap rond IC2 is een simpel versterkertje, waarmee we de signalen oppeppen tot de gewenste 20 V top-tot-top. De versterking is regelbaar door middel van R8. Na deze versterking komt de instelling voor de grootte van de uitgangsspanning aan de beurt. Is schakelaar S2 gesloten, dan verschijnt de volle 20 V over de potentiometer R11. We kunnen de grootte van de uitgangsspanning dan instellen tussen 0 V en 10 V. Willen we een kleinere uitgang, dan openen we de schakelaar, waardoor R9 en R10 gaan meespelen en het grootste gedeelte van de uitgangsspanning opslokken. Na de potentiometer R11 volgt een buffer, opgebouwd rond IC3. Deze zorgt voor een constante en lage uitgangsimpedantie, zonder de grootte van de spanning te beïnvloeden.

De gelijkspanningen

Het schema waarmee de twee gelijkspanningen worden opgewekt, is getekend in figuur 4/7.43-5. De schakeling is de eenvoud zelve. Staat schakelaar S3 in de getekende stand, dan wordt er een spanningsdeler gevormd tussen de +15 V en de -15 V, opgebouwd uit de weerstanden R13, R14 en R16. De waarde van deze onderdelen is zo gekozen dat over potentiometer R14 een spanning van 2 V valt, keurig verdeeld tussen -1 V en +1 V. Door het verdraaien van de loper kunnen we dus iedere gewenste spanning tussen de genoemde grenzen aftakken en via een buffer IC4 aan de uitgang (uit-2) aanbieden. Willen we een grotere spanning opwekken, dan schakelen we S3 om, de verhouding van de spanningsdelerweerstanden wordt anders, zodat er over de potentiometer een totale spanning valt van 20 V, weer symmetrisch verdeeld tussen de plus en de min.

7.43 Een universele analoge trainer



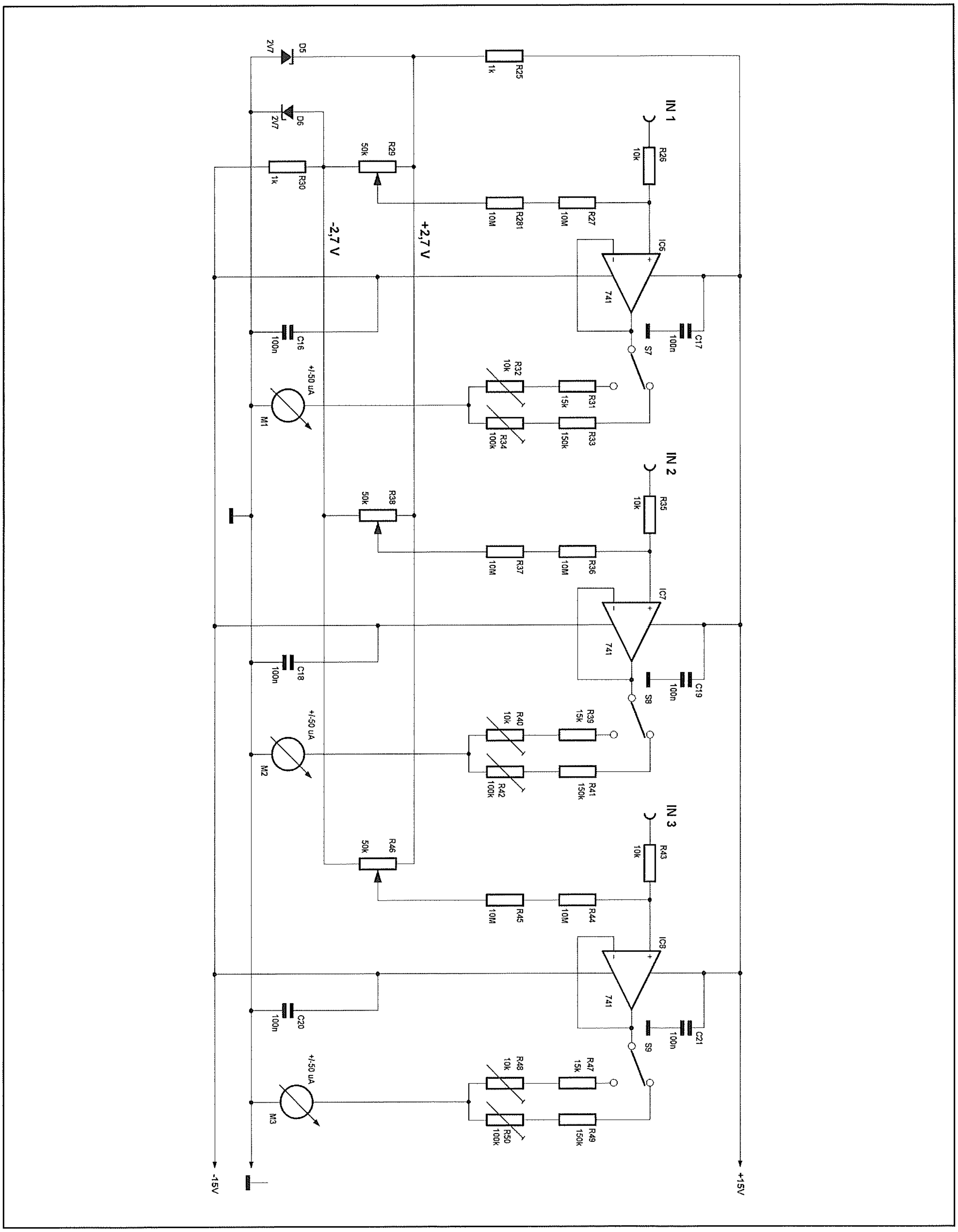
Figuur 4/7.43-5: Het schema van de gelijkspanningsgeneratoren.

7.43 Een universele analoge trainer

Zoals overal in de trainer, zijn ook hier de voedingsaansluitingen van de op-amp keurig ontkoppeld door middel van 100 nF condensatoren.
Het tweede deel van de schakeling, rond operationele versterker IC5, is identiek van opbouw.
De twee drukschakelaars S4 en S5 worden ingeschakeld voor het opwekken van de spanningssprongen. Deze schakelaars hebben een omschakelcontact. Als de schakelaars niet worden ingedrukt, dan zullen de moedercontacten (c) via de normaal gesloten contacten (nc) worden doorverbonden met weerstand R18. De uitgang "Sprong uit" ligt aan de massa. Drukken we bijvoorbeeld op S4, dan wordt de spanning die we met S3 en R14 hebben ingesteld, via de kleine weerstand R17 verbonden met de "Sprong uitgang".

De indicatoren
De schakeling voor het sturen van de drie meetinstrumentjes is getekend in figuur 4/7.43-6. We willen zowel positieve als negatieve spanningen meten, vandaar dat het gebruik van meetinstrumenten met de nul in het midden voor de hand ligt.
Gekozen is voor -50 µA - 0 - +50 µA draaispoelmetertjes met als frontafmetingen 60 mm bij 46 mm. Deze hebben een inwendige weerstand van 1,2 kΩ.
In principe zouden we door middel van voorschakelweerstanden, in serie opgenomen met de meterspoeltjes, spanningen kunnen gaan meten. De totale weerstand is dan toch wel wat laag, vandaar dat gekozen is voor een elektronische meetschakeling. Het te meten ingangssignaal wordt door middel van een weerstand (R26) aangeboden aan een als buffer geschakelde operationele versterker (IC6). Deze schakeling wordt gekenmerkt door een zo goed als oneindige ingangsweerstand en spanningsversterking van 1.
De uitgang van de buffer stuurt een bereikenschakelaar S7. In de stand 1 V wordt de meter gestuurd uit de uitgang van de buffer via twee weerstandjes R31 en R32, deze laatste ijkt het meetbereik. In de stand 10 V worden twee tien keer zo grote weerstanden in serie met de meter opgenomen, waarbij de instelpotmeter R34 dient voor het ijken van het bereik.
In principe zouden we klaar zijn, ware het niet dat de offset van de operationele versterker roet in het eten strooit. De offset (in het tweede experiment komen we op dit begrip terug) zorgt ervoor, dat er op de uitgang van de buffer toch een kleine spanning verschijnt, zelfs als de ingang aan de massa ligt. We moeten deze offset compenseren en dat doen we door aan de positieve ingang van de op-amp een kleine instelspanning aan te leggen.
Twee zenerdioden D5 en D6 worden gebruikt voor het genereren van een kleine positieve en een even kleine negatieve spanning. Tussen beide spanningen staat een instelpotmeter R29. De loper van dit onderdeel gaat naar de positieve ingang van de op-amp, via twee zeer grote weerstanden R27 en R28. Bij het afregelen van de trainer zullen we deze instelpotmeter gebruiken om, bij open ingang, de uitslag van de meter exact op nul af te regelen.
De ingangsweerstand van de meterschakeling wordt bepaald door de waarde van R27 en R28 en is dus 20 MΩ, meer dan voldoende om zonder beïnvloeding in wat voor soort schakeling dan ook te kunnen meten.

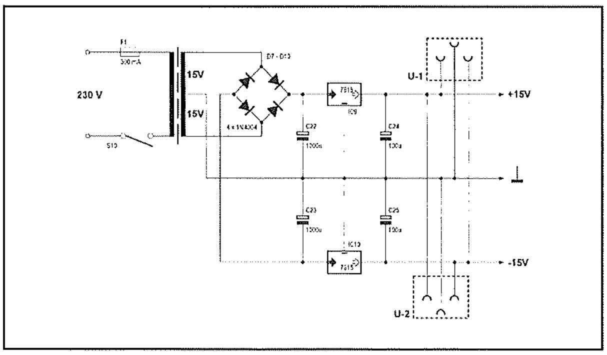
7.43 Een universele analoge trainer



Figuur 4/7.43-6: De schakeling van de drie spanningsmeters.

7.43 Een universele analoge trainer

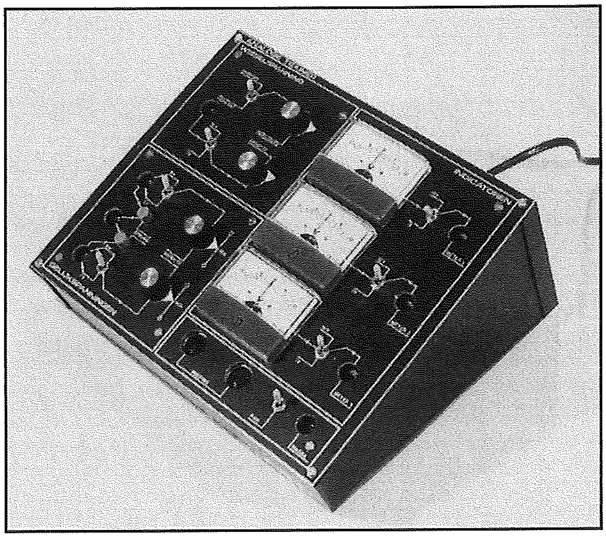
De voeding
De voeding van de trainer is getekend in figuur 8/2.2-7 en verbergt geen wereldschokkende nieuwe uitvindingen. De twee 15 V wikkelingen van de trafo worden door middel van vier in bruggeschakelde dioden gelijkgericht en leveren gelijkspanningen van ongeveer ±20 V. Deze spanningen worden aangeboden aan de ingangen van geïntegreerde stabilisatoren van het type 7815 en 7915. De gestabiliseerde uitgangsspanningen van ±15 V worden nog eens extra ontkoppeld en voeden de geïntegreerde schakelingen van de trainer. Beide spanningen en de massa worden ook nog eens door middel van twee driepolige connectoren naar buiten gevoerd voor het voeden van de testbordjes.



Figuur 4/7.43-7: De schakeling van de symmetrische voeding.

De bouw van de trainer

Inleiding
De uitvoering van het prototype van de universele analoge trainer, waarvan figuur 4/7.43-8 een indruk geeft, hoeft zeker niet onder te doen voor gelijk welk professioneel apparaat. Natuurlijk vergt het heel wat uren en zeer nauwkeurig werken alvorens dit resultaat op de werkbank staat. Maar aan de hand van deze uitgebreide bouwbeschrijving moet u toch en aardig eind in de buurt komen.

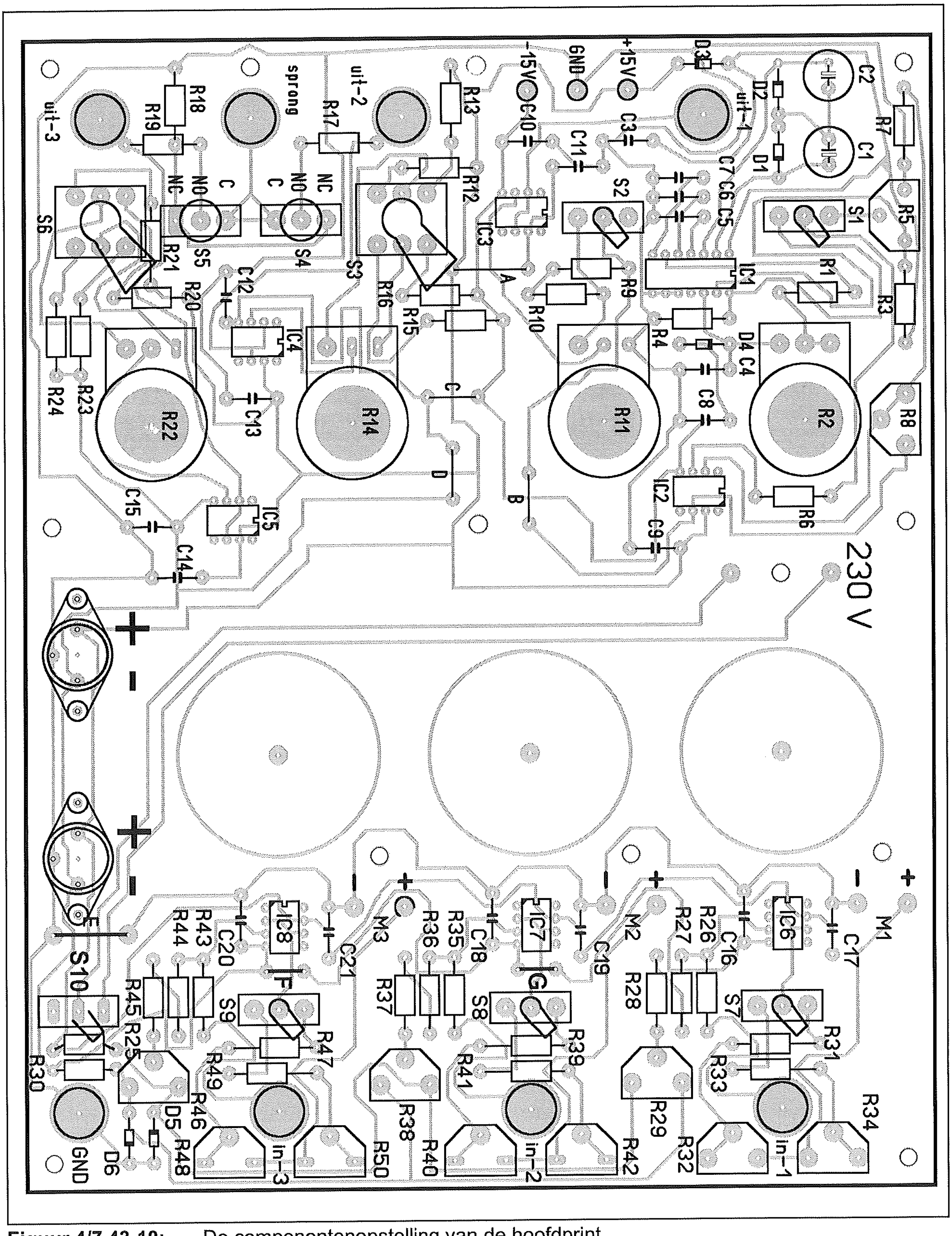


Figuur 4/7.43-8: Het prototype van de universele analoge trainer.

De elektronica is ondergebracht op twee printen. Op de hoofdprint zitten de schakelingen van de generatoren en de meters, op de voedingsprint uiteraard de voeding.

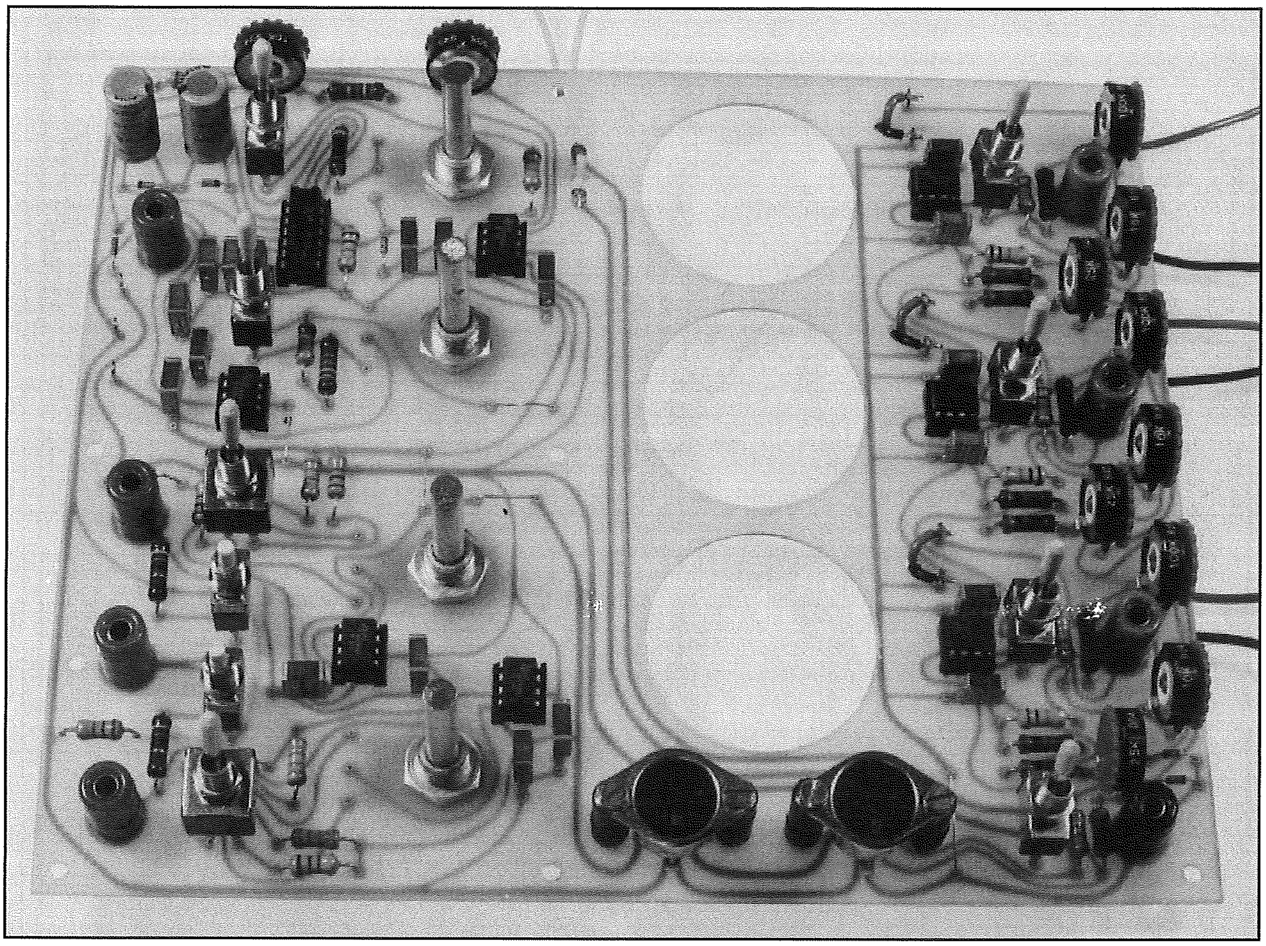
De hoofdprint
Figuur 4/7.43-9 (zie voorlaatste pagina) geeft de layout van de hoofdprint die alle onderdelen herbergt, op de voeding na. Naast de standaard boringen van 0,8 mm voor de IC's, 1 mm voor de onderdelen en 1,3 mm voor de printsoldeerpennetjes, moeten er een aantal grotere gaten geboord worden. Op de eerste plaats 19 gaten van 3,5 mm voor de bevestiging van de print op de frontplaat en het vastschroeven van de 4 mm stekkerbussen. Vervolgens vier 10 mm gaten voor de potentiometers. Tot slot drie 40 mm gaten voor de meetinstrumenten. Wie niet wil vijlen, koopt een gatenzaag van 40 mm, zet deze in de boormachine in de boorstandaard.

7.43 Een universele analoge trainer



Figuur 4/7.43-10: De componentenopstelling van de hoofdprint.

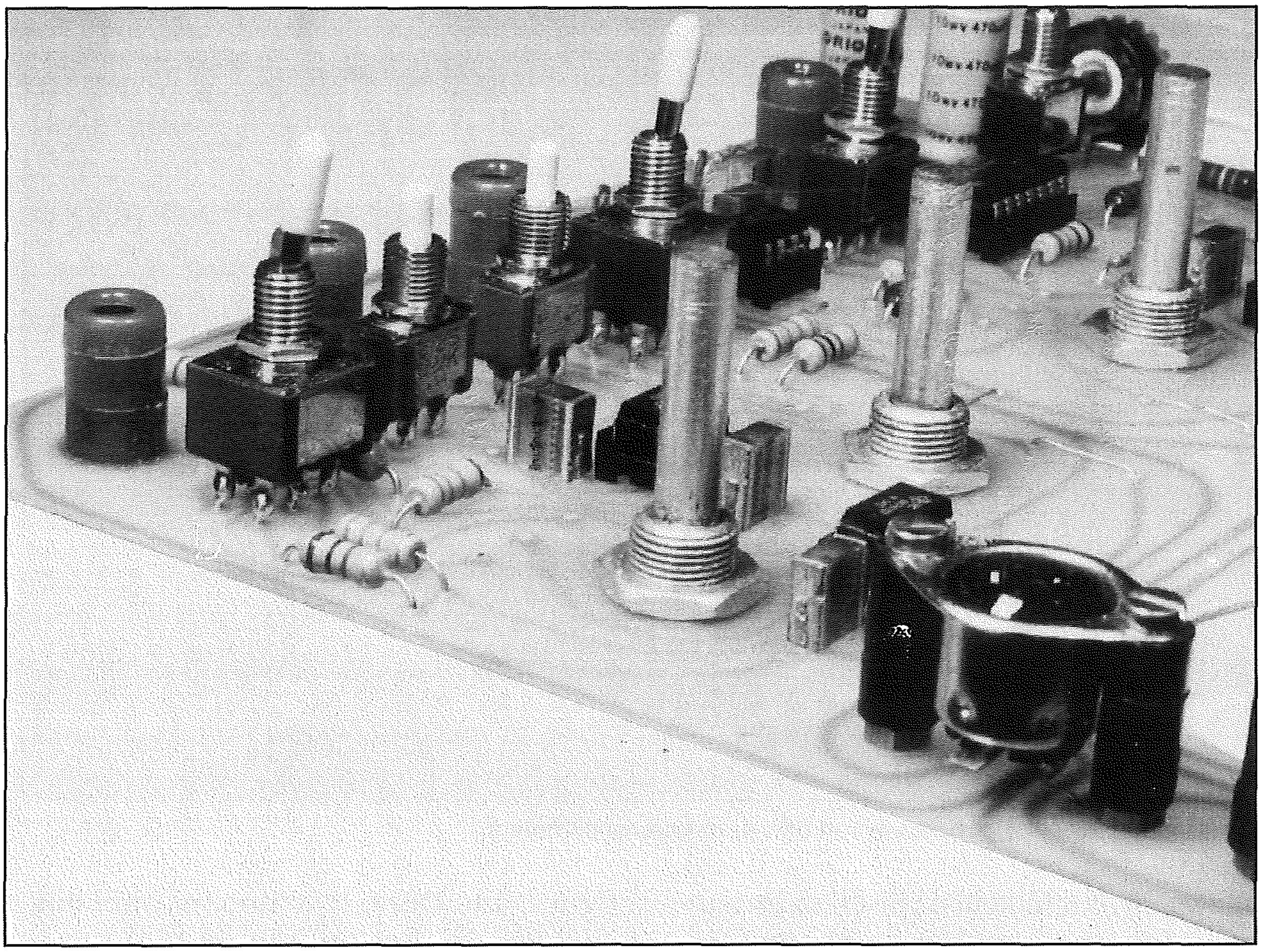
7.43 Een universele analoge trainer



Figuur 4/7.43-11: Het prototype van de hoofdprint. Let op! De layout van de print wijkt af van de definitieve versie van figuur 4/7.43-9.

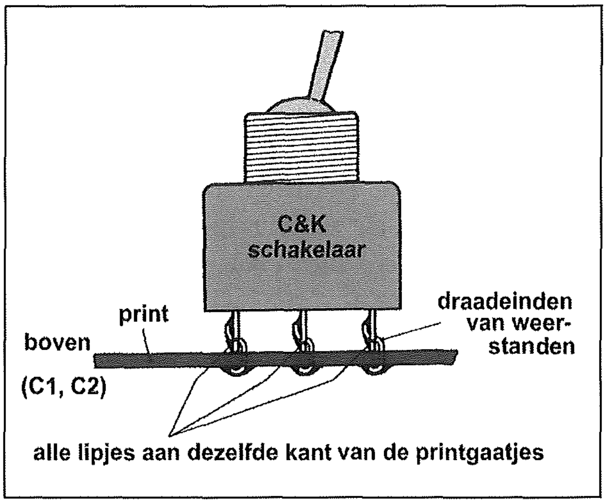
Na deze bewerkingen kan de print bestukt worden, volgens figuren 4/7.43-10 en -11.
We starten met de zeven draadbruggetjes, A tot en met G. Nadien komen de printsoldeerlipjes aan de beurt: drie voedingsaansluitingen (op de print gemerkt met +15 V, -15 V en massa), de 230 V gaatjes en de positieve en negatieve aansluitingen van de meetinstrumenten. Vervolgens de IC-voetjes en het kleine grut: dioden, weerstanden, condensatoren, elco's en instelweerstanden. De twee 470 µF printelco's (C1 en C2) mogen niet hoger zijn dan 20 mm, de afstand tussen print- en frontplaat. Koop dus exemplaren met een werkspanning van 15 V.
De volledige bestukte print is te bewonderen in figuur 4/7.43-11. Aan de hand van deze figuur, enige detailfoto's en tekeningen, kunnen we de rest van de onderdelen op de juiste manier huisvesten.
Eerst komen de schakelaars aan de beurt. We hebben zes enkelpolige omschakelaars, bijvoorbeeld type 7101 van C&K, nodig. Daarnaast twee dubbelpolige omschakelaars, type 7201 en tot slot twee enkelpolige drukschakelaars van het type 8125.
Figuur 4/7.43-12 geeft een impressie van de montage.

7.43 Een universele analoge trainer



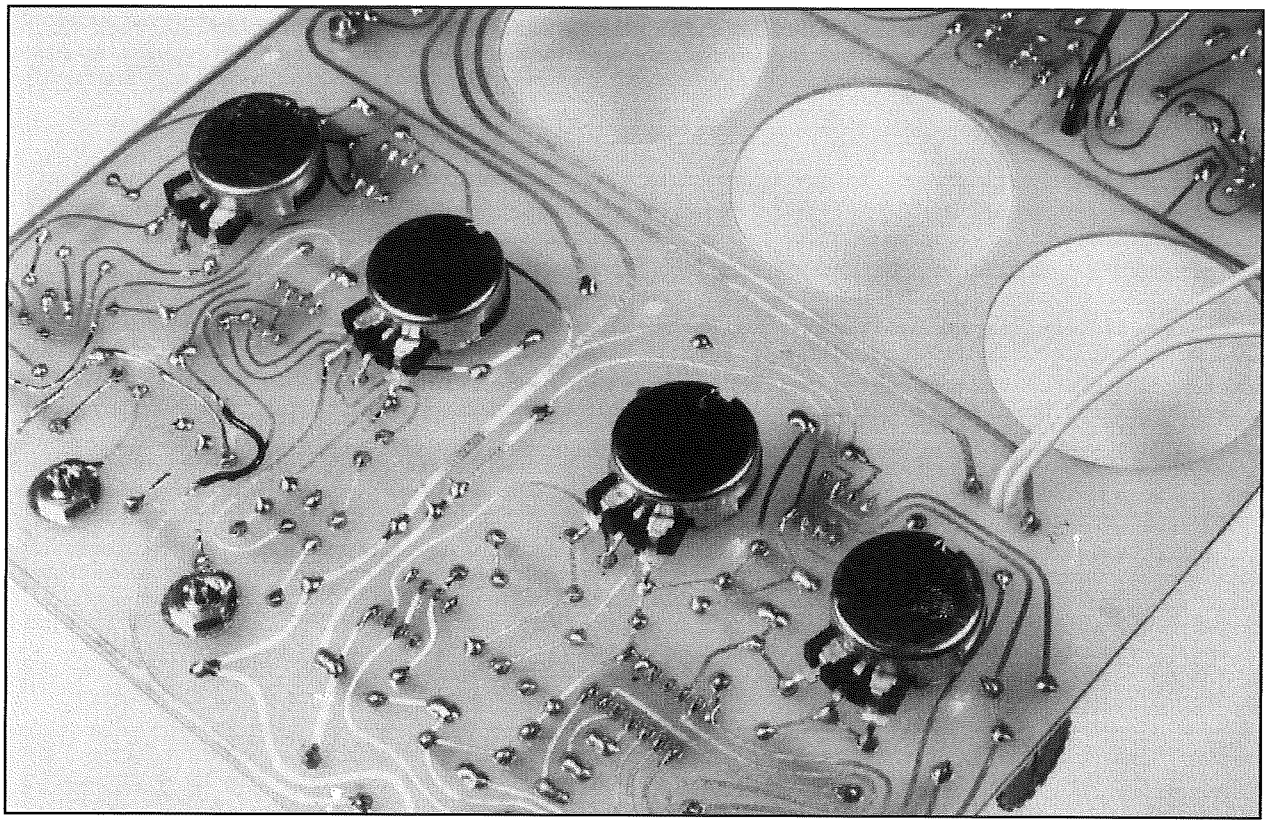
Figuur 4/7.43-13: Montage van de schakelaars en de stekkerbussen.

Soldeer eerst stevige draadjes, bijvoorbeeld de afgeknipte draadeinden van de gemonteerde weerstanden, in de schakelaarlipjes. Attentie: de draadjes moeten allemaal aan dezelfde zijde van de lipjes zitten!
Duw de schakelaars vervolgens in de print en wel zo, dat de onderkant van de lipjes worden geprikt als aangegeven in figuur 4/7.43-12. De lipjes moeten aan de bovenkant van de gaatjes staan. Zou men een schakelaar omgekeerd bevestigen, dan zit hij 2 mm te laag en past niet meer in het bevestigingsgat van de frontplaat!



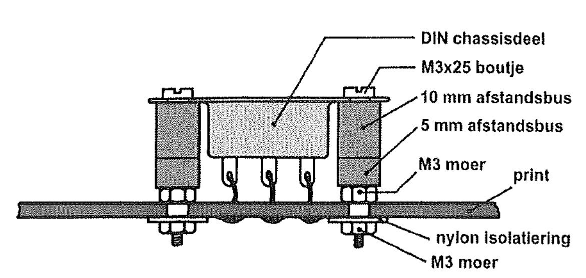
Figuur 4/7.43-12: De montage van de schakelaars op de hoofdprint.

7.43 Een universele analoge trainer



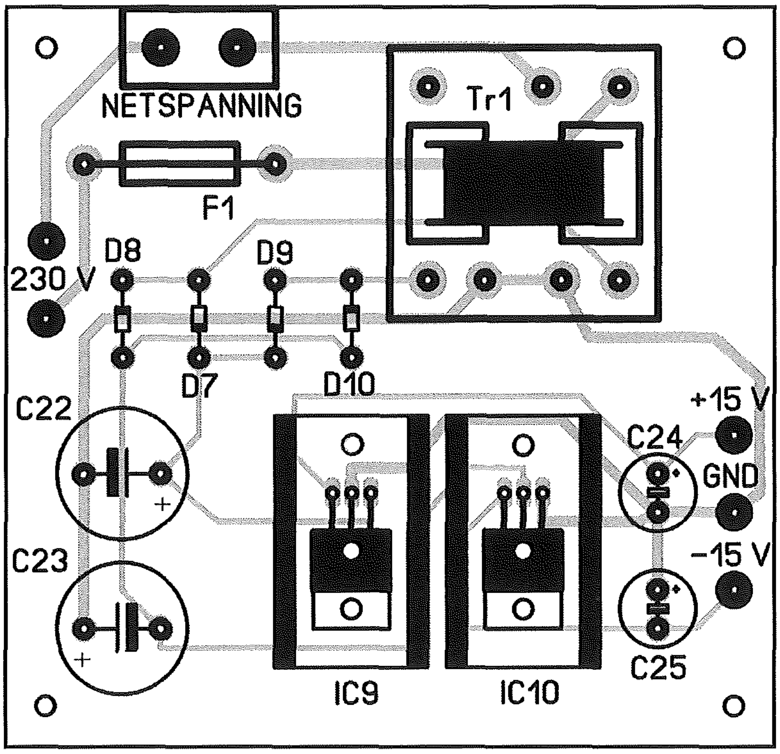
Figuur 4/7.43-15: De montage van de vier draaipotentiometers.

De twee drukschakelaars eisen extra aandacht. Let op de positie van de met "c", "no" en "nc" aangeduide contacten, vergelijk met figuur 4/7.43-10! Bovendien moeten deze schakelaars niet zo ver mogelijk in de print worden geduwd. De schakelaarlipjes zitten 2 mm van de print af. Figuur 4/7.43-13 geeft een detailbeeld van de montage van de schakelaars. Uit deze foto volgt ook hoe de stekkerbussen op de print komen. Voor ieder gat heeft u de onderdelen van twee stekkerbussen nodig. Het schroefje en het ringetje worden verwijderd en nadien duwt u een extra isolatiebus om het metalen gedeelte. Deze combinatie gaat op de print en wordt aan de koperzijde op het eilandje vastgeschroefd.
Vervolgens kunnen we de twee driepolige DIN-chassisdelen bevestigen, volgens figuur 14. Deze tekening is duidelijk, dachten wij. Let op! Op de foto van figuur 4/7.43-13 is de bus verkeerd om gemonteerd. Ook het sporenpatroon van de print klopt niet met de uiteindelijke lay-out.



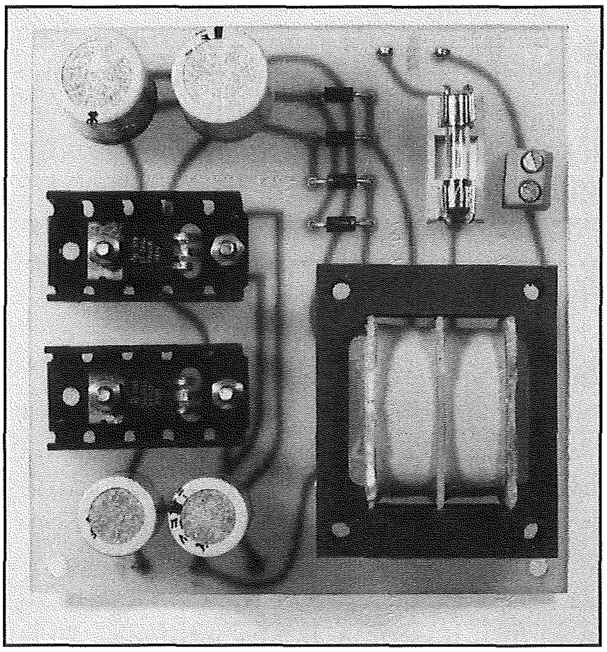
Figuur 4/7.43-14: De montage van de twee chassisdelen voor het voeden van de experimenteerschakelingen.

7.43 Een universele analoge trainer



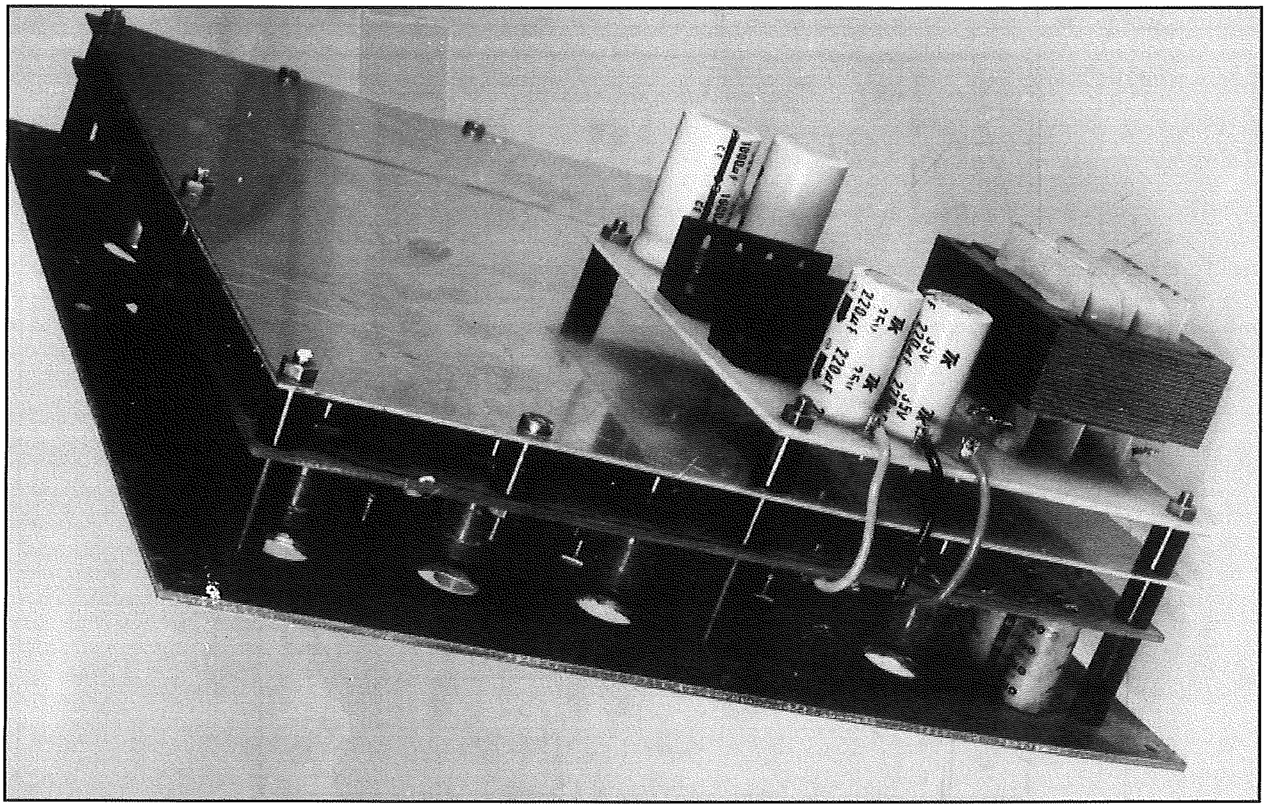
Figuur 4/7.43-17: De componentenopstelling van de voedingsprint.

Als laatste stap moeten we de vier potentiometers bevestigen. Nadat de assen op de juiste lengte zijn gezaagd (afhankelijk van de knoppen die u gekocht heeft) kunnen ze op de print worden geschroefd en de aansluitlipjes op de koperzijde vastgesoldeerd, volgen figuur 4/7.43-15. Ook op deze foto zit een afwijking in het sporenpatroon. Een printontwerpfout is provisorisch verholpen met wat kraswerk en een draadje.
Alvorens we de hoofdprint terzijde leggen, worden acht soepele draadjes van 15 cm gesoldeerd op de printlipjes van de 230 V en de meteraansluitingen. Deze draadjes voeren we door de 3,5 mm gaatjes tussen de soldeerlipjes naar de koperzijde van de print, zie figuur 4/7.43-11.



Figuur 4/7.43-18: Het prototype van de voedingsprint.

7.43 Een universele analoge trainer



Figuur 4/7.43-19: De montage van de twee printen op de aluminium montageplaat en de frontplaat.

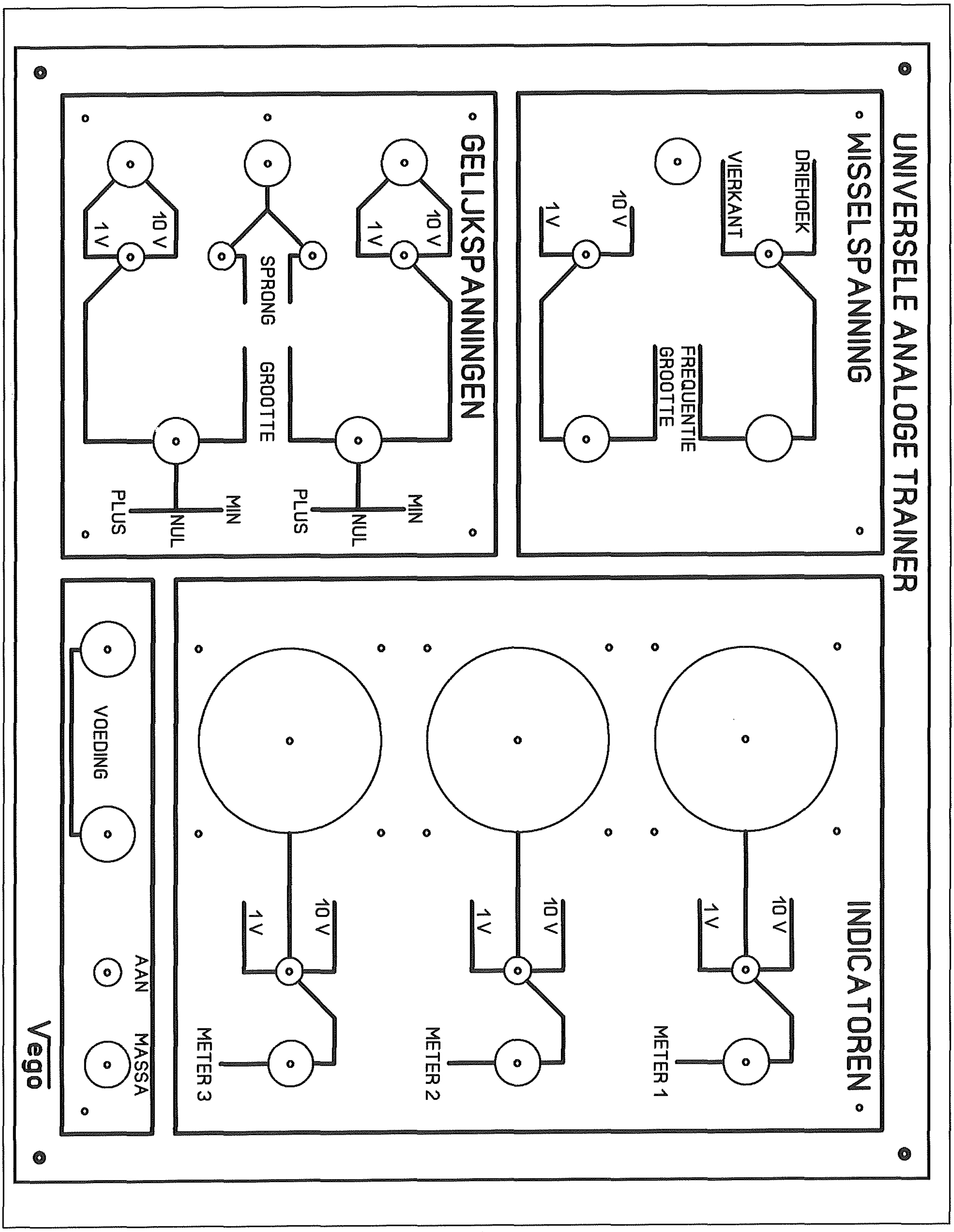
De voedingsprint

De voeding van de trainer zit op een afzonderlijk printje, waarvan figuur 4/7.43-16 het ontwerp toont.
Deze print wordt gemonteerd volgens de figuur 4/7.43-17 en -18. Kinderspel! De twee stabilisatoren IC9 en IC10 worden op kleine U-vormige koelprofieltjes geschroefd.

Het metaalwerk

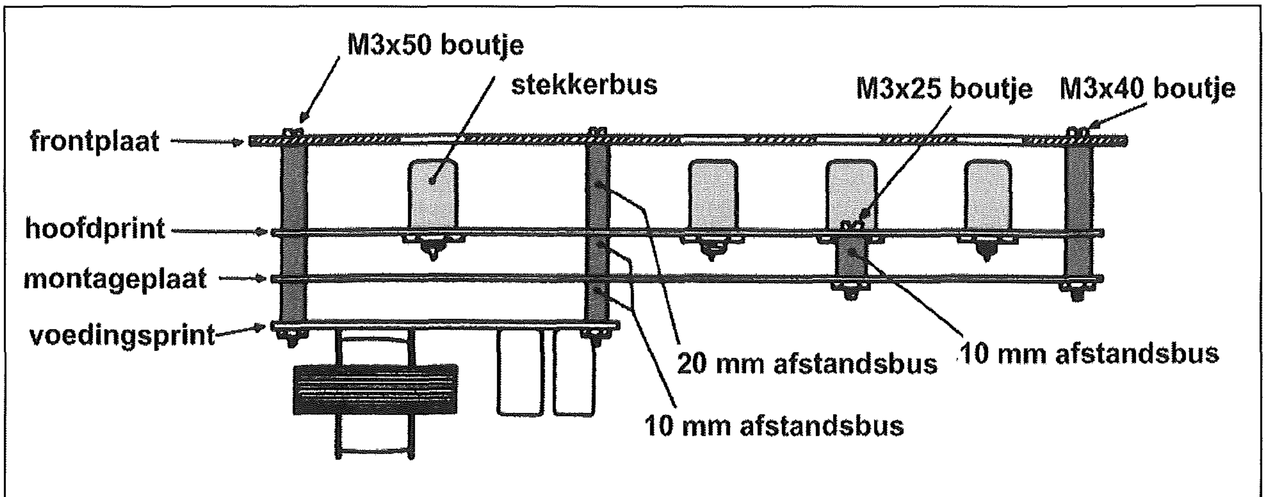
De twee printen worden als een soort sandwich aan elkaar en aan de frontplaat bevestigd, waarbij een aluminium montageplaat tussen beide printen wordt opgenomen. Hoe een en ander er uit komt te zien toont figuur 4/7.43-19. De aluminium montageplaat is snel gemaakt: zij is even groot als de hoofdprint en heeft slechts enige gaatjes. Om precies te zijn, elf gaatjes van 3,5 mm voor het doorvoeren van bevestigingsschroeven en een gat van 10 mm voor het solderen van de 230 V draadjes aan de voedingsprint. In dat gat komt trouwens een rubber tule.
Wél een probleem is de frontplaat. Hoe maak je als doe het zelver een mooie, professionele frontplaat? Allereerst hebben we een ontwerp nodig, liefst op ware grootte. Nu is de frontplaat van de analoge trainer 20 cm bij 24,5 cm groot en dat is te groot om in dit naslagwerk te worden afgedrukt. Vandaar dat figuur 4/7.43-20 verkleind is. Het zélf afdrukken op een standaard A4 inkjet printer gaat nét. De simpelste procedure om een mooi frontplaatje te krijgen is de volgende. Download het ontwerp van onze internetsite www.hobbyelektronica.nu en print het TIF-bestand tweemaal op een inkjet printer met als afmetingen 20 cm bij 24,5 cm.

7.43 Een universele analoge trainer



Figuur 4/7.43-20: Het verkleinde ontwerp van de frontplaat.

7.43 Een universele analoge trainer



Figuur 4/7.43-21: De montage van de twee printplaten op de frontplaat en de ondersteunende montageplaat.

Gebruik een stevig soort papier. Plak de eerste afdruk op een plaat aluminium en pons alle middelpunten van alle te boren gaatjes en gaten in het aluminium. Verwijder nu de afdruk en bewerk het plaatje aluminium. Als de frontplaat helemaal klaar is kunt u de tweede afdruk met tweezijdig klevende folie of met lijm uit de spuitbus op het aluminium plakken. Met een zeer scherp hobbymes kunt u nu de grote gaten uit het papier snijden, langs de rand van de gaten in de aluminium frontplaat.

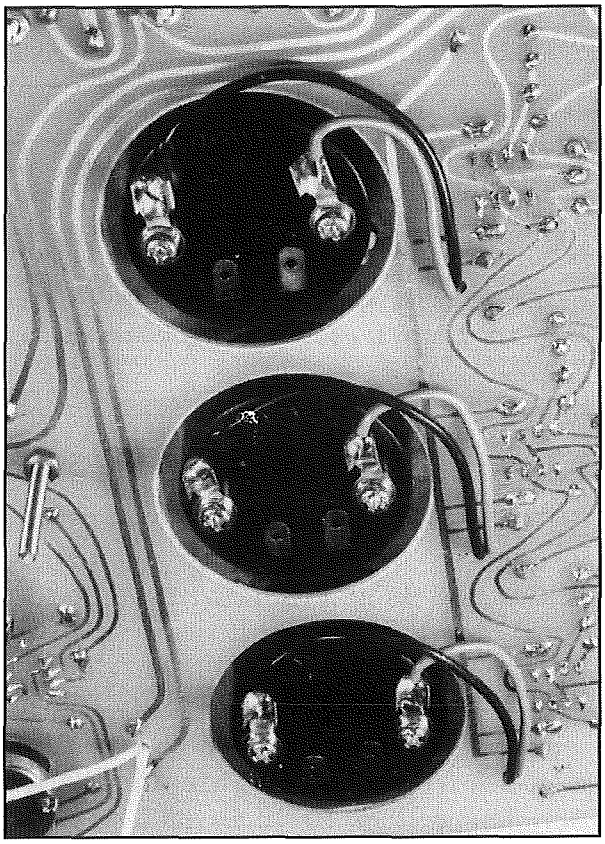
Nog beter en mooier is gebruik te maken van het fotogevoelige en zelfklevende aluminium van 3-M Company, in de handel onder de naam "Scotchcal". De procedure is als volgt. Print het ontwerp af op de speciale transparante film die voor inkjet printers in de handel is. Belicht met deze film een plaatje Scotchcal aluminium, liefst met een hoogtezon. De belichtingstijd is afhankelijk van de afstand tussen lichtbron en fotogevoelig materiaal en kan experimenteel worden bepaald. Gebruik dus enige proefstrookjes voor het bepalen van de juiste belichting. Na ontwikkelen met de bijgeleverde ontwikkelaar ontstaat een zwart frontplaatje met aluminiumkleurige letters. Het kan natuurlijk voorkomen, dat u een aluminiumkleurig frontplaatje met zwarte tekst mooier vindt. Dat kan! Laadt het TIF-ontwerp in een grafisch programma en maak het negatief. Druk weer af op transparante film en belicht er het fotogevoelig aluminium mee.

Tip: spuit het Scotchcal plaatje af met transparante en matte vernis. De krasbestendigheid neemt toe en vingervlekken zijn minder zichtbaar. Nog een tip: iedere elektronicazaak verkoopt voor een prikje stukken epoxy printplaat zonder fotolaag. Dit materiaal laat zich gemakkelijker bewerken dan aluminium, het verbuigt niet en er ontstaan geen bramen bij het boren van gaten. Ideaal voor het maken van de frontplaat! Slottip: vaak is het erg moeilijk grote gaten, zoals voor de DIN-chassisdelen en de stekkerbussen, mooi rond te boren, zelfs bij gebruik van een boorstandaard. Boor deze gaten voor met een spiraalboortje van 6 mm en gebruik nadien een zogenaamde plaatboor voor het ruimen van de gaten. Zuiver rond en braamloos!

7.43 Een universele analoge trainer

De eindmontage

Nu alle ingrediënten aanwezig zijn, kunnen we het gerecht van figuur 4/7.43-19 gaan opdienen. De eerste stap is het samenschroeven van frontplaat en hoofdprint. De tekening van figuur 4/7.43-21 geeft weer hoe het moet met lange bouten en 10 mm en 20 mm afstandsbussen. Er komt echter een vertragende factor om de hoek kijken. De schaaltjes van de meetinstrumenten zijn geijkt in µA en dat kan natuurlijk niet. Dus: schaaltjes voorzichtig uit de meters halen (twee kleine schroefjes), met een scherp mesje met ronde punt de ongewenste cijfers wegschrapen (de schaalindeling blijft natuurlijk) en met zelfklevende cijfers een nieuw schaaltje ontwerpen volgens figuur 4/7.43-3. Dat gaat echt goed: de zwarte cijfers zijn fabrieksmatig op het witgeschilderde schaaltje gezeefd en de zwarte verf laat makkelijk los, zonder de witte laag te beschadigen.
Nadat de schaaltjes weer op hun plaats zitten en de meetinstrumenten door middel van de vier bijgeleverde schroefjes op de frontplaat zijn bevestigd, kunnen frontplaat en hoofdprint verenigd worden. Als alles goed is gegaan, dan passen alle schakelaars precies in de gaatjes en staan de DIN- en stekkerbussen precies onder de gaten van de frontplaat. De assen van de schakelaars steken zelfs twee mm uit en door middel van de bijgeleverde moeren draaien we de zaak vast. We kunnen nu de meetinstrumenten aansluiten, zie figuur 4/7.43-22. Nu staat niets ons in de weg (behalve misschien een vers kopje koffie) om de printencombinatie te voltooien.
De M3-moertjes, gebruikt voor de provisorische bevestiging van print op front worden verwijderd, op de schroeven komen 10 mm lange afstandsbussen en daarop de aluminium montageplaat. Voer de twee draadjes van de 230 V soldeerlipjes van de hoofdprint door de rubber tule.



Figuur 4/7.43-22: Het aansluiten van de drie draaispoelmeters.

Vervolgens kunt u een groot aantal schroeven met M3-moertjes zekeren. Vier blijven nog even open, daar komen weer 10 mm afstandsbusjes overheen en nadien de voedingsprint. Dan kunt u ook die schroeven vastdraaien. Op drie punten brengen we extra steunschroeven aan tussen hoofdprint en montageplaat, natuurlijk met tussenschakeling van afstandsbusjes. Deze schroeven voorkomen mechanische belasting van de print bij het induwen van banaanstekkers in de stekkerbussen.

7.43 Een universele analoge trainer

De twee printen worden nu verbonden. De 230 V draadjes aan de ene kant van de voedingsprint en drie draadjes van de +15 V, -15 V en massa aansluitingen van de ene print gaan naar de gelijknamige aansluitingen van de andere print. De trainer is klaar om afgeregeld te worden.

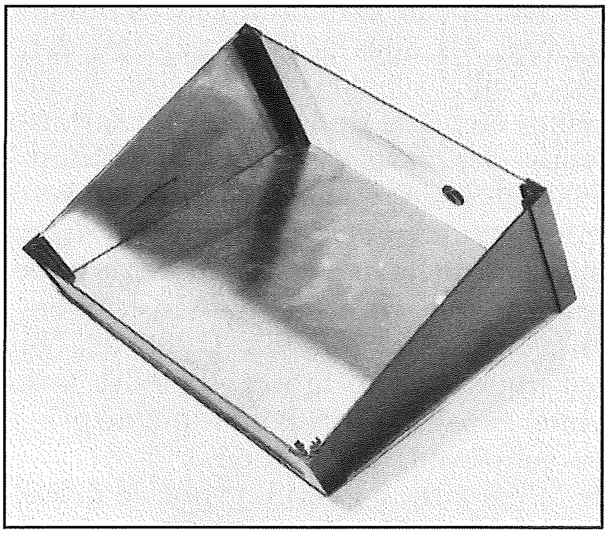
Het in bedrijf stellen

Verbindt een netkabel met het printkroonsteentje op de voedingsprint en schakel het apparaat aan. De drie meters zullen waarschijnlijk iets afwijkend van nul aanwijzen. Laat het apparaat een kwartiertje opwarmen en regels als volgt af.

- Nulstellen van de meters
  Zet de bereikenschakelaars op 1 V en verdraai de instelpotentiometers R29, R38 en R46 tot de meters 0 V aanduiden.
- IJking van de meetbereiken
  Sluit de drie ingangsbussen van de meters parallel aan op een van de uitgangen van de gelijkspanning. Sluit op deze uitgang bovendien een universeelmeter aan. Zet de bereikenschakelaars op 10 V en stel de uitgangsspanning van de trainer in op +10 V. Verdraai de instelpotmeters R34, R42 en R50 tot alle meters +10 V aanwijzen. Zet vervolgens alle bereikomschakelaars op 1 V en verdraai de potentiometer tot de uitgangsspanning van de trainer +1 V bedraagt. Regel R32, R40 en R48 af tot volle schaalaanduiding op de meetinstrumenten.
- Afregeling van de frequentiegenerator
  Sluit de uitgang van de functiegenerator aan op een van de meters. Zet de "Grootte"-potentiometer maximaal open en de bereikenknop op 10 V. Als u de functie-knop op de stand "Driehoek" zet en de frequentieknop in de middenstand, dan zal de naald van de meter langzaam heen en weer gaan tussen ongeveer -10 V en +10 V. Regel R8 af, tot die grenzen bereikt of niet meer overschreven worden. Er kan een kleine asymmetrie in het uitgangssignaal zitten, wat zich uit in bijvoorbeeld een iets lagere negatieve maximale spanning dan positief. Dit wordt veroorzaakt door het IC, is niet te verhelpen en bovendien geen probleem. Schakel nadien de functieschakelaar op "Vierkant" en regel R5 af op een spanningszwaai van -10 V naar +10 V. Ook hier kan een kleine asymmetrie aanwezig zijn.

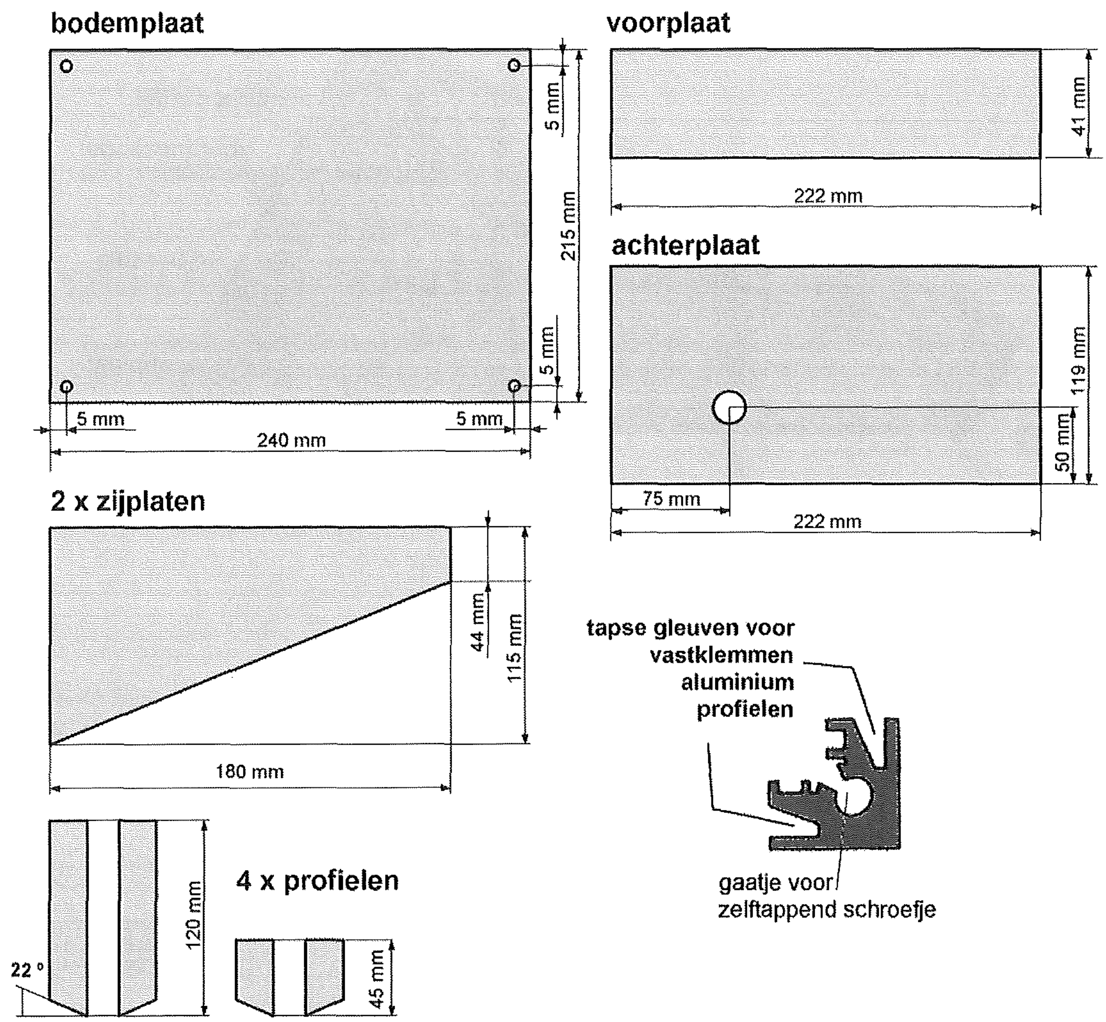
De behuizing

Een mooie schakeling wil in een fraaie behuizing ondergebracht worden, zodoende hebben we aan de kast van de trainer de nodige aandacht besteed. Wat we willen bereiken is afgebeeld op figuur 4/7.43-23: een mooie zwarte kast met hellend front, zodat de trainer gemakkelijk te bedienen en af te lezen is.



Figuur 4/7.43-23: De behuizing waarin het prototype werd ondergebracht.

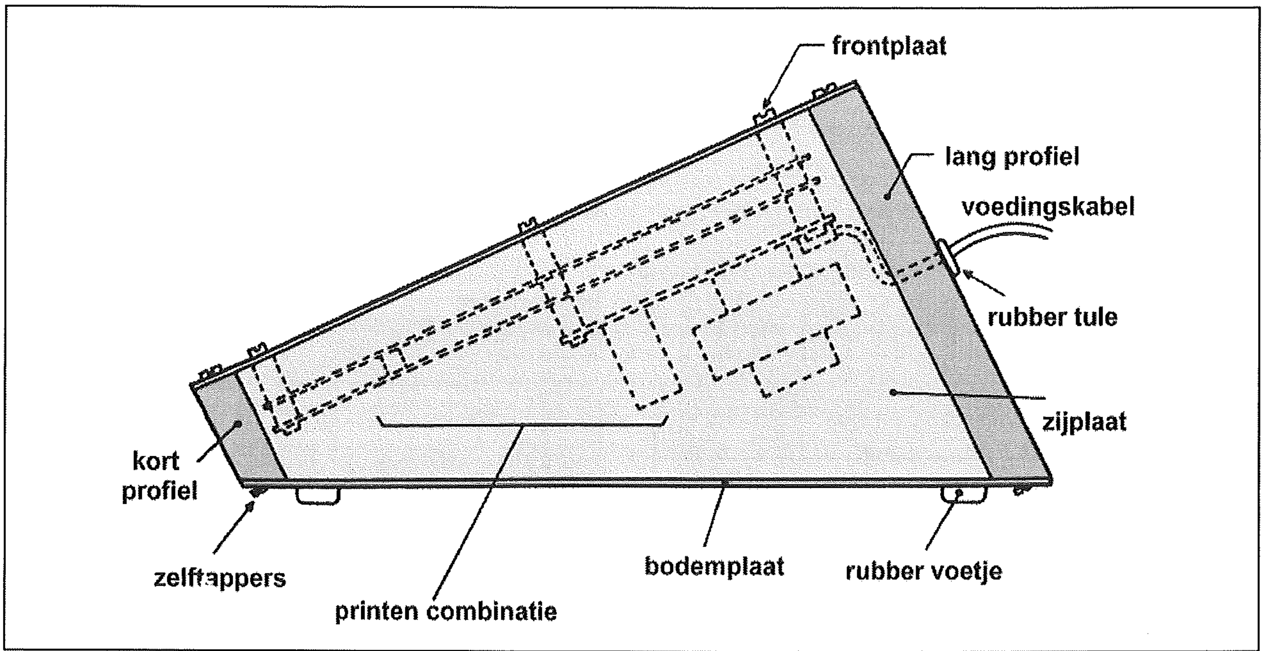
7.43 Een universele analoge trainer



Figuur 4/7.43-24: De afmetingen van de aluminium platen van de behuizing.

Vroeger zou het maken van zo'n kast een heel probleem zijn, nu gaat dat erg simpel. Er bestaat immers een speciaal aluminium hoekprofiel, waarin aluminium wandplaten te bevestigen zijn. Het enige dat we moeten doen is een aantal aluminium platen op maat zagen, vier stukjes profiel van de juiste lengte zagen en de kast in elkaar zetten. Figuur 4/7.43-24 geeft alle nodige informatie.
Weer een tip: in plaats van het moeizame zagen kunt u de 1 mm dikke aluminiumplaat ook breken. Dat gaat als volgt. Teken eerst de afmetingen af. Kerf nadien aan beide zijden flink in met een Stanlymes (denk om de vingers) langs een metalen lat. Leg de plaat vervolgens met de kerf op de rand van de tafel. Buig de plaat voorzichtig heen en weer. Na enige malen buigen breekt het aluminium keurig op de kerf. Even naschuren met grof schuurpapier en u heeft een kaarsrechte rand.
Nadat alle platen en de profielen op maat zijn gemaakt en geschuurd, kunt u alles met spuitbusverf afwerken.

7.43 Een universele analoge trainer



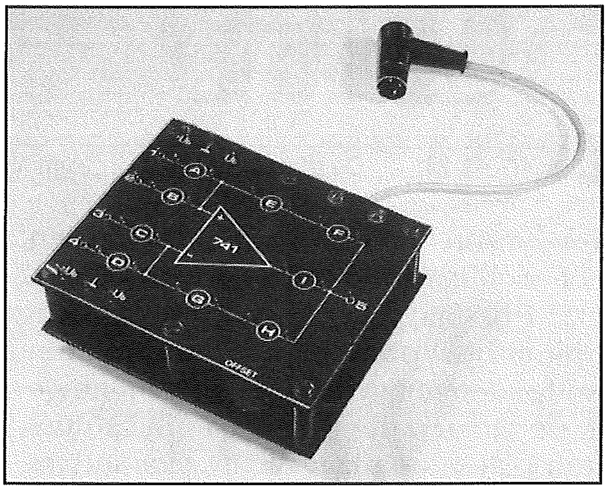
Figuur 4/7.43-25: Eindmontage van de universele analoge trainer.

Kies matte verf, stofjes vallen dan niet zo erg op. Vervolgens worden de delen provisorisch in de profielen geklemd, en kunt u de bodemplaat met zelftappers vastschroeven. Tot slot wordt de printencombinatie volgens figuur 4/7.43-25 gemonteerd.

De universele 741 experimenteerprint

Inleiding

Weliswaar is onze universele analoge trainer klaar voor gebruik, maar zonder experimenteerprintje heeft u er niet veel plezier van. Met dat experimenteerprintje kunt u schakelingen opbouwen rond een operationele versterker. Ook hieraan hebben we de nodige zorg besteed, kijk maar naar figuur 4/7.43-26, waar het experimenteerprintje voor de in de inleiding genoemde experimenten wordt gepresenteerd. Of, beter gezegd, een van de experimenteerprintjes, want sommige experimenten eisen twee op-amp's en dus ook twee printjes.

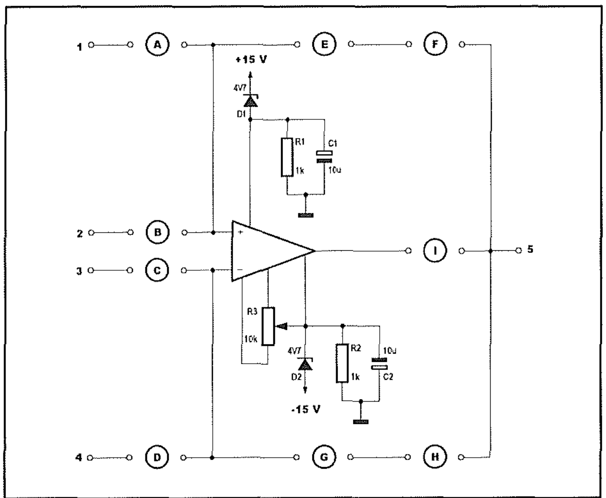


Figuur 4/7.43-26: Een van de twee experimenteerprintjes die nodig zijn voor het uitvoeren van alle in deel 3/97 beschreven experimenten.

7.43 Een universele analoge trainer

Het schema

Het printje bevat één 741 op-amp, enige onderdelen voor de voeding van het onderdeel en verder een groot aantal soldeerlipjes, waarop de experimenteerschakeling wordt gebouwd. De genoemde onderdelen zitten ***op de koperzijde*** van de print, de andere zijde is voorzien van een afdrukje waarop een schema rond de op-amp is getekend. Het schakelingetje is getekend in figuur 4/7.43-27.



Figuur 4/7.43-27: Het schakelingetje op de experimenteerprint.

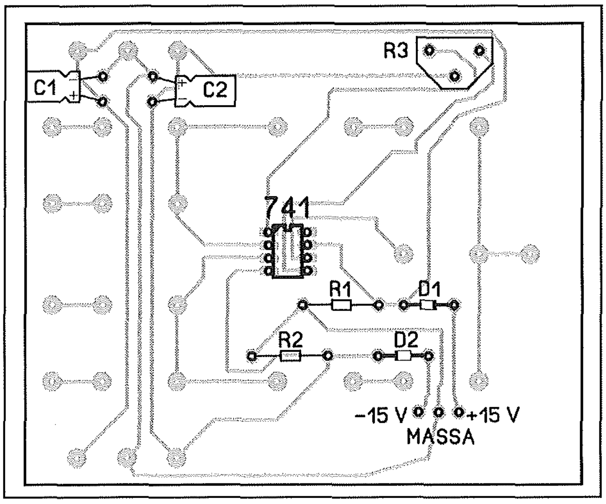
De voedingsaansluitingen van de op-amp worden niet rechtstreeks gevoed uit de beschikbare ±15 V. Deze spanningen worden door twee zenerdioden gereduceerd tot ongeveer ±10 V. Bij een aantal experimenten wordt de op-amp namelijk volledig uitgestuurd, hetgeen tot gevolg heeft dat de uitgangsspanning ongeveer gelijk wordt aan de voedingsspanning. Bij voeding met 15 V zou dat ongeveer 13 V zijn, een spanning die onze meters niet kunnen verwerken. Vandaar de enigszins gereduceerde voedingsspanning, zodat de uitgang van de op-amp nooit groter of kleiner dan 10 V kan worden.

Twee elcootjes zorgen voor de ontkoppeling van de voedingsspanningen, terwijl twee 1 kΩ weerstanden een permanente stroom door de zeners sturen, hetgeen de stabiliteit van de spanningen bevordert. Naast de twee weerstanden, elco's en zeners is een instelpotentiometertje aanwezig, waarmee we de offset van de op-amp kunnen wegregelen. Bovendien is nog plaats voor een aantal componenten, gemerkt van A tot en met I, die al dan niet gevuld wordt bij de diverse experimenten.

De bouw van de experimenteerprint

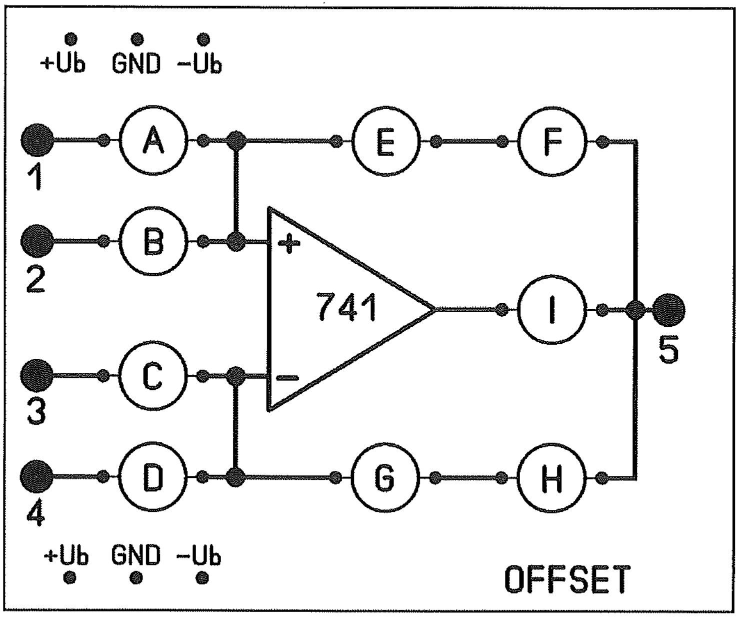
Het printontwerp is getekend in figuur 4/7.43-28, de bestukking volt uit figuur 4/7.43-29.

Eerst moeten we echter het frontplaatje maken en op de print plakken. Het ontwerp, op ware grootte, is te bewonderen in figuur 4/7.43-30. Dit kan op de reeds beschreven manier gedownload worden en afgedrukt op uw inkjet printer met als afmetingen 11 cm bij 9 cm.



Figuur 4/7.43-29: Bij de experimenteerprint worden de onderdelen op de ***koperzijde*** van de print gesoldeerd.

7.43 Een universele analoge trainer



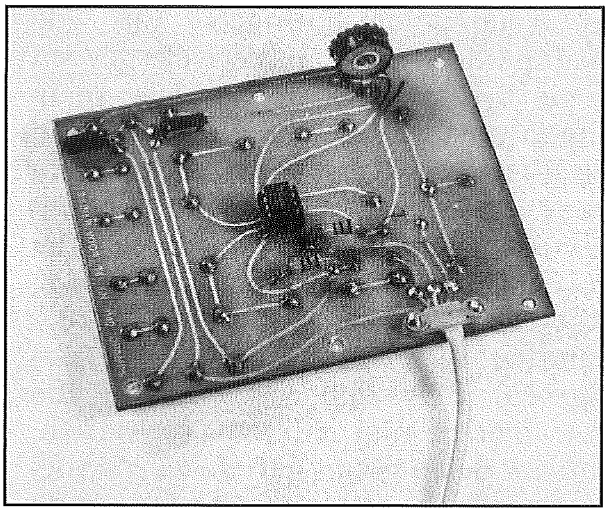
Figuur 4/7.43-30: Het frontplaat ontwerp van de experimenteerprint.

De acht onderdeeltjes kunnen vervolgens ***op de koperkant van de print worden gesoldeerd,*** waarbij niet te lang verhitten de boodschap is. Als het epoxy te warm wordt, dan gaan er gassen ontstaan in de lijm waarmee de afdruk op de print is geplakt met als resultaat lelijke puisten. Nadien volgen 29 printsoldeerlipjes en deze komen uiteraard wel aan de "goede" kant van de print. De voedingsaansluitingen worden verbonden met de analoge trainer door middel van een drie-aderig kabeltje en een DIN-stekker. Een exemplaar, waarbij de draad de stekker aan de zijkant verlaat geniet de voorkeur. De drie aders van het kabeltje worden ook weer op de koperkant van de experimenteerprint gesoldeerd. Een trekontlasting, gesloopt uit een netsteker, zekert de kabel tegen mechanische trekbelasting.

Figuur 4/7.43-31 geeft de gemonteerde experimenteerprint. Het eindresultaat wordt perfect, als we nog een aluminiumplaatje maken ter grootte van de print en dit met 25 mm afstandsbusjes onder het printje schroeven.

Het einde komt in zicht!

Als allerlaatste bewerking moeten we vijf experimenteerkabeltjes maken, met aan de ene kant een banaanstekker en aan de andere een krokodilbek klemmetje.



Figuur 4/7.43-31: Een prototype van de experimenteerprint.

7.43 Een universele analoge trainer

De stekkers gaan naar de trainer, met de krokodilklem sluiten we het kabeltje aan op een van de soldeerlipjes van de experimenteerprint.

ONDERDELENLIJST UNIVERSELE ANALOGE TRAINER

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %

R1	4,7 kΩ
R3	1,8 kΩ
R4,R26,R35,R43	10 kΩ
R6,R7,R9,R10	22 kΩ
R12,R15,R18,R21,R24,R25,R30	1 kΩ
R13,R16,R20,R23	33 kΩ
R17,R19	47 Ω
R27,R28,R36,R37,R44,R45	10 MΩ
R31,R39,R47	15 kΩ
R33,R41,R49	150 kΩ

INSTELPOTENTIOMETERS, 5 x 10 mm STAAND

R5,R32,R40,R48	10 kΩ
R8,R29,R38,R46	50 kΩ
R34,R42,R50	100 kΩ

DRAAIPOTENTIOMETERS, MONO, LINEAIR

R2	5 kΩ
R11,R14,R22	500 kΩ

CONDENSATOREN

C1,C2	470 µF	15 V printelco
C3-C21	100 nF	MKH
C22,C23	1000 µF	35 V printelco
C24,C25	100 µF	20 V printelco

HALFGELEIDERS

D1,D2	1N4148
D3,D4	4,7 V, 400 mW zenerdiode
D5,D6	2,7 V, 400 mW zenerdiode
D7-D10	1N4004
IC1	XR2207
IC2-IC8	741, mini-DIL
IC9	7815
IC10	7915

DIVERSEN

6	schakelaar 7101, C&K
2	schakelaar 7201, C&K
2	schakelaar 8125, C&K
1	trafo, 2 x 18 V, 2 x 200 mA
1	IC-voet, 14 pennen
7	IC-voet, 8 pennen
2	rubbere doorvoertules, 15 mm
11	instelwieltjes voor instelpotmeters
16	4 mm stekkerbussen

7.43 Een universele analoge trainer

2	DIN chassisdeel, 3-polig
3	draaispoelmeters, Monacor type 2
2	koelplaatje voor TO-220
2	knopje voor 8125 schakelaar
4	pijlknop voor 6 mm as
16	printsoldeerlipje
1	netkabel met aangegoten stekker
1	printzekeringhouder
1	zekering 300 mA
1	printkroonsteentje, 2-polig
4	M3x10 boutje
7	M3x25 boutje
5	M3x40 boutje
3	M3x50 boutje
32	M3 moertje
8	zelftappers, 3 mm
4	5 mm afstandsbusje
19	10 mm afstandsbusje
8	20 mm afstandsbusje
2	nylon isolatiering voor M3

ONDERDELENLIJST EXPERIMENTEERPRINT

2	1 kΩ, 1/4 W weerstand
2	4,7 V, 400 mW zenerdiode
2	10 µF, 25 V printelco
1	10 kΩ instelpotentiometer, staand, 5 x 10 mm
1	IC-voetje, 8 pennen
1	741, mini-DIL
1	DIN-steker, 3-polig
29	printsoldeerlipje
6	M3x35 boutje
6	5 mm afstandsbusje
6	20 mm afstandsbusje
6	M3 moertje
8	nylon isolatiering, M3
1	trekontlasting uit netstekker

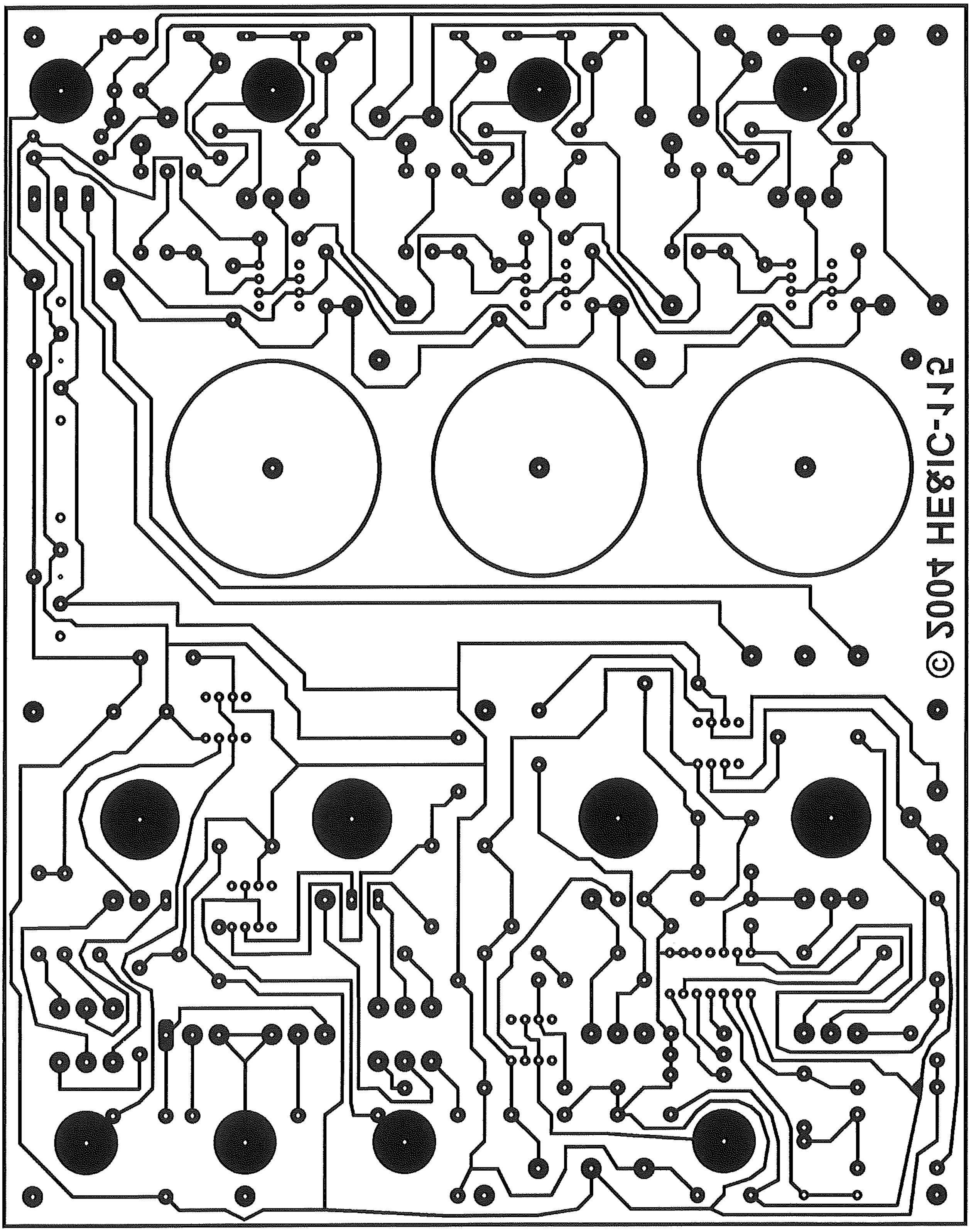
HOE MAAKT U DE DRIE PRINTEN?

OPTIE 1: zelf maken
U scant de twee volgende pagina's, haalt er de printen uit (PaintShop!) en drukt deze met een inkjet-printer af op het juiste formaat op transparante folie. U knipt de print uit en belicht er de fotogevoelige printplaat mee.

OPTIE 2: via Internet
Op **www.hobbyelektronica.nu** selecteert u uit het linker menu de optie "Printservice". In het rechter venster selecteert u het hoofdstuknummer. U kunt nu de print als TIF-file downloaden. U opent deze file in een beeld-bewerkingsprogramma en drukt deze met de op de Internet-pagina aangegeven afmetingen op transparante folie af. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

OPTIE 3: bestellen
U stuurt een **ONGEFRANKEERD** briefje naar Vego VOF, Antwoordnummer 30020, 6374 ED Landgraaf, met vermelding van het hoofdstuknummer. U krijgt per kerende post de printontwerpjes op transparante folie **GRATIS** toegestuurd. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

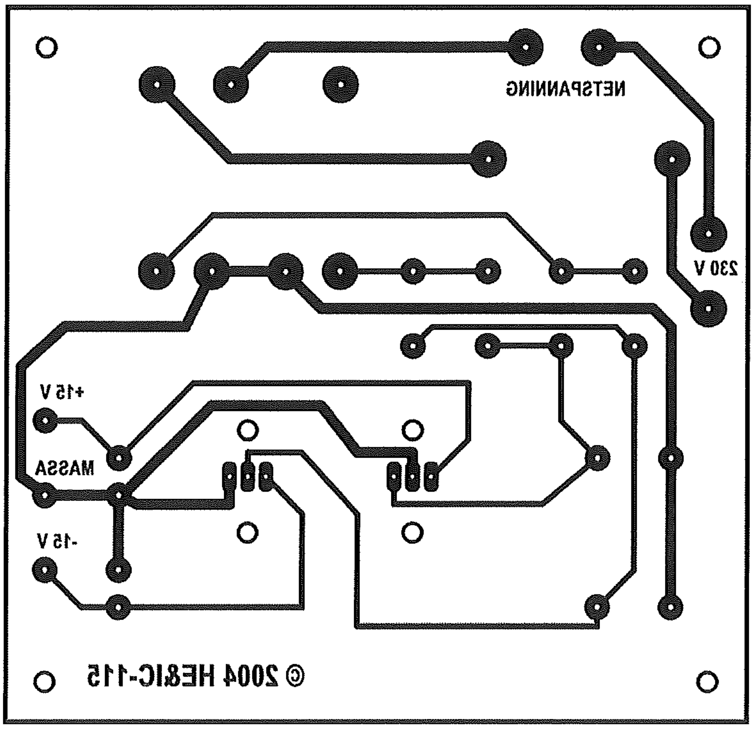
7.43 Een universele analoge trainer



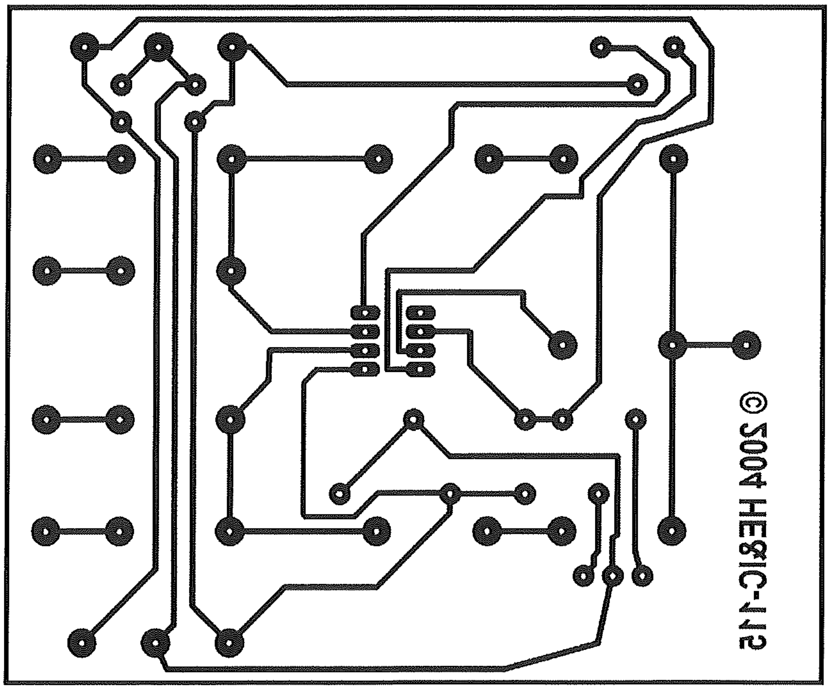
Figuur 4/7.43-9: De print van de universele analoge trainer, ware afmetingen 225 mm bij 180 mm.

7.43 Een universele analoge trainer

7.43 Een universele analoge trainer



Figuur 4/7.43-16: De print van de voeding, ware afmetingen 100 mm bij 95 mm.



Figuur 4/7.43-28: De experimenteerprint, ware afmetingen 90 mm bij 110 mm.

7.43 Een universele analoge trainer

4/7.44

Heel eenvoudige NPN transistor curvetracer

Inleiding

Het zal u, elektronica hobbyist, net zo vergaan als ons. In uw "lijkenkist" liggen misschien wel honderden oude transistoren, ooit gebruikt voor schitterende projecten die echter de tand des tijd niet hebben doorstaan en weer uit elkaar zijn gesoldeerd. Meestal zal het hierbij gaan om laag en medium vermogen NPN transistoren, zoals BC107's, het oeroude en nog steeds universele "werkpaardje van de elektronica". Prachtige transistoren waren dat, dank zij hun lange pootjes goed te solderen in spinnewebopstellingen en dank zij hun metalen behuizing zo goed als onverwoestbaar. Zelfs een gloeiend hete BC107 doet het, na afkoeling, vaak weer zonder problemen.

Supereenvoudige curvetracer

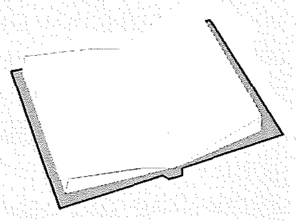
Als u zin heeft om die oude rotzooi eens en voor altijd uit te sorteren en op te ruimen, komt de in dit hoofdstuk beschreven schakeling goed van pas. De enige voorwaarde is dat u een scope in huis heeft, die u in X/Y-modus kunt schakelen, dus waarbij u de tijdbasis kunt uitschakelen. Deze supereenvoudige en goedkope transistor curvetracer kunt u namelijk volledig opbouwen uit onderdelen die u in de reeds genoemde lijkenkist zult vinden. Veel pretenties heeft het apparaatje niet, maar het doet precies wat het moet doen: de voornaamste karakteristiek, namelijk de $I_c = f(U_{ce})$-karakteristieken, op het scherm van uw scope zetten. Als die bundel grafieken er goed uitziet, dan weet u dat u de transistor zonder problemen in nieuwe schakelingen kunt gebruiken.

Statisch testen van transistoren

Er zijn universeelmeters op de markt, waarmee u ook transistoren kunt testen. Meestal herleidt deze test zich tot een eenvoudige statische controle van de transistor in één werkpunt P, zie figuur 4/7.44-1. U stuurt een constante basisstroom in de transistor en leest de overeenkomstige collectorstroom af op uw universeelmeter. Uit de verhouding van beide stromen volgt de versterkingsfactor, die intelligente meters voor u bere-

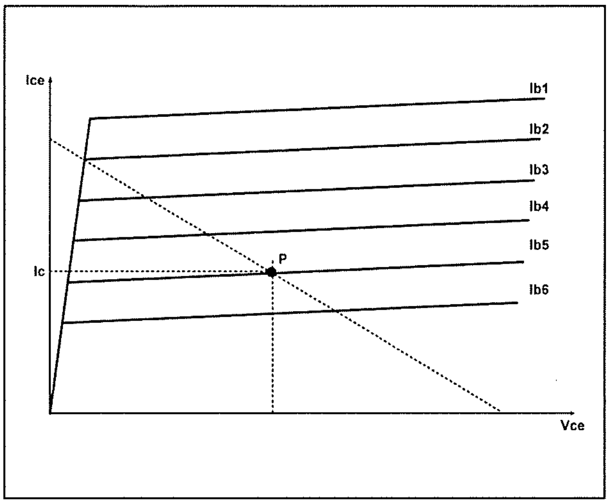
LEES OOK:

Hoofdstuk 3/11.1
Hoofdstuk 3/11.2
Hoofdstuk 4/7.9
Hoofdstuk 4/7.14



7.44 Heel eenvoudige NPN transistor curvetracer

kenen en digitaal weergeven. Voor nieuwe transistoren is deze controle meestal voldoende, maar in uw lijkenkist zitten helaas exemplaren die door thermische mishandeling in hun jeugd zeer rare karaktereigenschappen hebben ontwikkeld. Het verzadigingsgebied is veel te groot, de karakteristieken verlopen niet vlak en verlopen niet evenwijdig en tenslotte is de doorslagspanning te laag.



Figuur 4/7.44-1: Het statisch testen van een transistor in één werkpunt van de ideale karakteristieken.

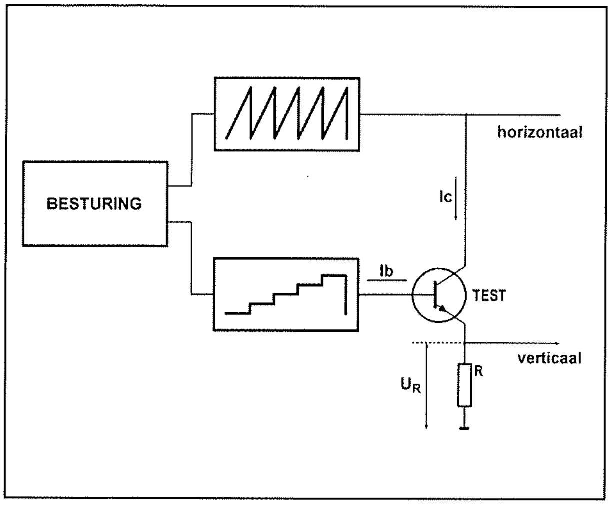
Het gekke is nu dat als we dit individu in de statische tester onderzoeken de kans bestaat dat er niets aan het handje lijkt te zijn. Als de door de basis vloeiende stroom en de transistorbelasting zo zijn dat de getekende belastingslijn ontstaat, dan wijst uw meter getrouw een I_c aan, die zelfs de meest veeleisende elektronicus tevreden doet glimlachen. De onderzochte transistor ontvangt een goedkeurend schouderklopje en belandt bij de reserves, wachtend op de dingen die komen. Groot is nadien het chagrijn en algemeen verdriet als de ingewikkelde schakeling die absoluut klaar moet zijn vertikt te doen wat van haar wordt verlangd.

Dynamisch testen van transistoren
De oplossing voor al deze problemen is een dynamische test op uw transistoren uit te voeren, waarbij de hele bundel $I_c = f(U_{ce})$-karakteristieken op het scherm van uw oscilloscoop zichtbaar wordt gemaakt. Het apparaat dat tot zulke dingen in staat is wordt aangeduid met de naam “transistor curvetracer”. Door de materiele welstand, waaronder de lage landen bij de zee om een of andere reden gebukt gaan, behoort de scoop bij vele niet-vaklui tot de standaarduitrusting van het hobbylab. Rest dus alleen een schakelingetje in elkaar te schroeven dat de te testen transistor ten voeten uit op het scherm van dit instrument uitbeeldt.

Het principe van een curve tracer
In eerste instantie moet u zich even concentreren op de bestudering van de $I_c=f(U_{ce})$-karakteristiek van figuur 4/7.44-1. Hoe zit zo'n ding in elkaar?
U stuurt een constante basisstroom door de transistor. Vervolgens laat u U_{ce} stapsgewijs variëren van nul tot maximum en noteert voor iedere waarde de vloeiende I_c. Nadien herhaalt u deze metingen met verdubbelde basisstroom en ijvert zo verder tot u de ganse bundel krommen heeft opgenomen.
Een tijdrovende klus die u met wat eenvoudige elektronica in één seconde kunt uitvoeren. Figuur 4/7.44-2 onthult ons hoe dit elektronisch is te verwezenlijken. Een stuurschakeling stuurt enerzijds een trapstroomgenerator en anderzijds een zaagtandspanninggenerator. Iedere keer dat een zaagtandcyclus is doorlopen, wordt de trapstroom één trede verhoogd. Na een bepaald aantal treden

7.44 Heel eenvoudige NPN transistor curvetracer

stort de trap in elkaar en herbegint het proces van voor af aan.



Figuur 4/7.44-2: Het algemeen principe van iedere transistor curvetracer.

De zaagtand wordt gebruikt als U_{ce} en de trapstroom vloeit de basis in. De oscilloscoop verlangt van ons dat we hem voeden met U_{ce} en I_c. De collectorstroom kan natuurlijk niet rechtstreeks worden gemeten. Niet getreurd echter, we laten hem vloeien door een kleine emitterweerstand R. De spanning over deze weerstand is immers recht evenredig met de collectorstroom, zo vertelt de heer Ohm. Dus zijn we van alle moeilijkheden verlost als we deze U_R aan de verticale versterker aansluiten. De zaagtandspanning wordt rechtstreeks naar de horizontale versterker gestuurd.
De weerstand R moet zo klein mogelijk zijn, want:

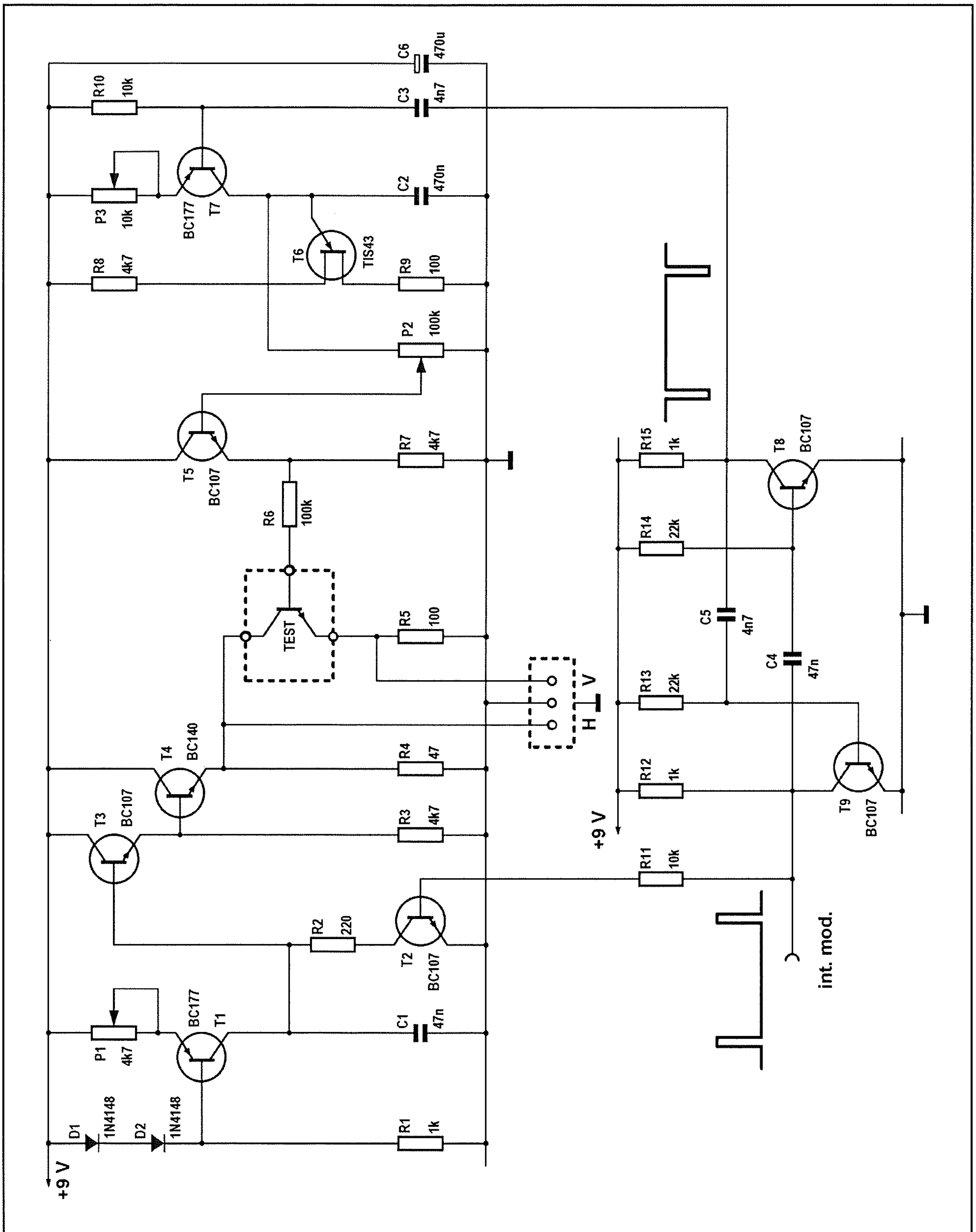
- Anders zal de I_b een niet verwaarloosbare spanning over die R doen ontstaan en is de evenredigheid tussen I_c en U_R zoek.
- Anders zal er terugkoppeling ontstaan omdat de emitter op een vlottend potentiaal wordt aangesloten. De karakteristieken worden dan niet meer in geaarde emitterschakeling opgenomen, zoals het volgens het boekje dient te gebeuren.
- Anders wordt de horizontale afbuiging eveneens beïnvloed door U_R.

Opgemerkt moet worden dat deze moeilijkheden optreden omdat de heren oscilloscoopconstructeurs de onhebbelijke eigenschap bezitten hun horizontale en verticale versterkers van een gemeenschappelijk massapunt te voorzien.

Het volledig schema

De aandachtige lezer zal bij bestudering van figuur 4/7.44-3 opmerken dat slechts negen goedkope transistoren nodig zijn om zijn doodgewone X/Y-oscilloscoop tot een super de luxe transistor curvetracer om te bouwen.
De stuurkring bestaat uit een asymmetrische astabiele multivibrator, opgebouwd rond T9 en T8. Transistor T9 staat normaal in verzadiging ingesteld en bijgevolg is zijn U_c zeer laag. Bij het omklappen van de schakeling komt hij even in "cut off" toestand en wordt zijn collector positief. Op de collector van T9 ontstaan dus smalle positieve pulsjes. Zijn broertje T8 gedraagt zich, zoals de meeste broers, volledig tegendraads en levert smalle negatief verlopende impulsen af.
De zaagtandspanning ontspruit uit de samenwerking van T1 en T2. Transistor T1 is geschakeld als constante stroombron. Zijn basis wordt door twee dioden op een vaste spanning gehouden. De spanning over P1 zorgt ervoor dat de collectorstroom constant zal blijven. Zou de stroom stijgen, dan zal er over P1 meer spanning vallen, de emitter wordt minder positief en U_{be} daalt waardoor de transistor minder gaat geleiden en de I_c automatisch intoomt.

7.44 Heel eenvoudige NPN transistor curvetracer



Figuur 4/7.44-3: Het volledig schema van de schakeling.

7.44 Heel eenvoudige NPN transistor curvetracer

Deze constante stroom laadt C1 op. De spanning over C1 stijgt bijgevolg lineair. Om de zo begeerde zaagtand te verkrijgen volstaat het dus C1 periodiek te ontladen, welke taak T2 welwillend op zich neemt. Normaal is hij gesperd, zijn basis is immers via weerstand R11 aangesloten op de collector van de verzadigde T9. Als de AMV omslaat trekt T2 basisstroom, gaat sterk geleiden en ontfermt zich over de in C1 opgehoopte lading. R2 dient als stroombegrenzer. Na de positieve puls gaat T2 weer dicht en wordt C1 weer opgeladen.
Het tere zaagtandspanninkje over C1 moet nog wat sterker worden alvorens het goed wordt bevonden voor de dienst. T3 en T4 vormen twee emittervolgers en zorgen ervoor dat u uw zaagtand over R4 weervindt, maar nu in staat stroom te leveren aan de te testen transistor.
T4 moet worden voorzien van een koelster en R4 is een 1 W type. De potentiometer P1 laat toe de maximum waarde van U_{ce} in te stellen. Deze potentiometer beïnvloedt de laadstroom en dus ook de spanning over C1.
Over R5, ook een 1 W type, wordt een spanning afgetakt die evenredig is met I_c. De waarde hangt af van de gevoeligheid van de verticale versterker van de gebruikte scoop. Als u 10 Ω of 100 Ω kiest is het gemakkelijk de uitgelezen spanning op het beeldscherm om te rekenen in collectorstroom. Met R5 = 100 Ω correspondeert iedere gemeten 0,1 V namelijk met 1 mA.
Stelt zich nog het probleem van het opwekken van de trapstroom. Transistor T7 zorgt hiervoor, in nauwe samenwerking met C2. In normale omstandigheden is deze transistor gesperd. Als de AMV omslaat komt T8 zoals reeds geschreven in verzadiging. Er ontstaat een negatieve sprong op de collector. Deze smalle puls wordt gedifferentieerd door C3 en R10. Transistor T7 zal even stroom trekken en hierdoor een kleine lading op C2 plaatsen. Over C2 komt dus een kleine spanning te staan.
Bij de volgende toestandsverandering van de multi herneemt het proces zich en U_{C2} stijgt tot een nieuwe waarde. Iedere keer als de multi een puls levert, zal T7 even geleiden, wat een toename van spanning over de condensator tot gevolg heeft. Deze spanning stijgt dus trapvormig totdat de uni-junction T6 het welletjes vindt en doorslaat. C2 wordt volledig ontladen en de cyclus herhaalt zich.
Merk op dat voor C2 een grote condensator werd gekozen. Doet u dit niet, dan zal de lekstroom van de UJT de condensator een beetje ontladen, waardoor de basisstroom niet constant blijft gedurende het schrijven van een karakteristiek. Bovendien zullen de treden van de trapspanning niet allemaal even groot zijn.
De potentiometer P3 laat toe de grootte van de stroompuls in te stellen en dus ook het aantal treden van de trapspanning. Omdat iedere trap overeenkomt met één karakteristiek van de $I_c = f(U_{ce})$-bundel, laat P3 toe het aantal karakteristieken, dat op het scherm van de scoop zichtbaar wordt, in te stellen.
De trapspanning wordt via P2 naar een emittervolger gestuurd. Deze potentiometer moet hoogohmig zijn, weer om te beletten dat C2 wordt ontladen.
Op de emitter van T5 vindt u de trapspanning terug. De grootte van de treden en dus van I_b is in te stellen met P2. Deze spanning moet worden omgevormd tot een constante stroom. Zoals u weet heeft een constante stroombron een zeer hoge inwendige weerstand in vergelijking met de schakeling waarop

7.44 Heel eenvoudige NPN transistor curvetracer

ONDERDELENLIJST

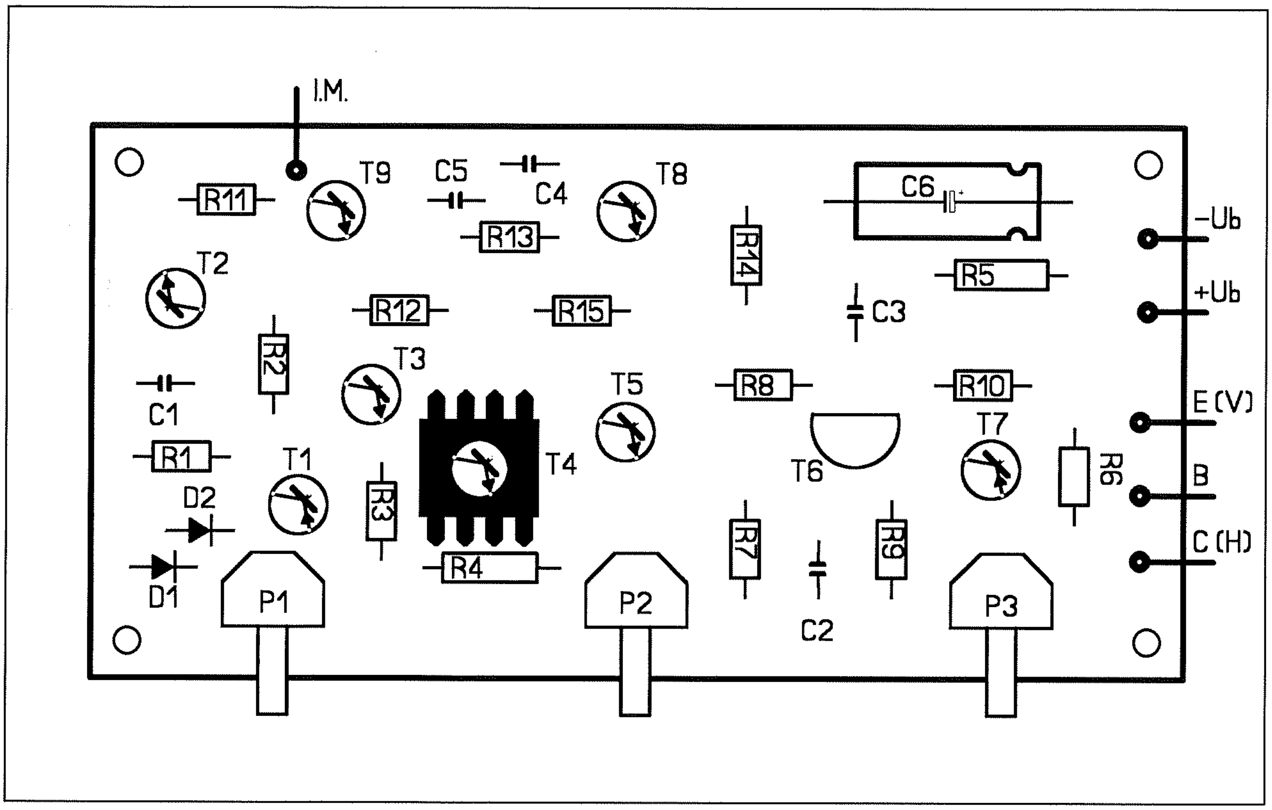
WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %		
R1,R12,R15	1 kΩ	
R2	220 Ω	
R3,R7,R8	4,7 kΩ	
R6	100 kΩ	
R9	100 Ω	
R10,R11	10 kΩ	
R13,R14	22 kΩ	
WEERSTANDEN, 1 W, 5 %		
R4	47 Ω	
R5	100 Ω	
INSTELPOTENTIOMETERS, STAAND, 10x5 mm		
P1	4,7 kΩ	
P2	100 kΩ	
P3	10 kΩ	
CONDENSATOREN		
C1,C4	47 nF	MKH
C2	470 nF	MKH
C3,C5	4,7 nF	MKH
C6	470 μF	16 V axiale elco
HALFGELEIDERS		
D1,D2	1N4148	
T1,T7	BC177	
T2,T3,T5,T8,T9	BC107	
T4	BC140	
T6	TIS43	
DIVERSEN		
1	koelplaatje voor BC140	
3	instelasje voor instelpotmeter	
6	printsoldeerlipje	

zij is aangesloten. Omdat de impedantie van een geleidende emitter/basis-junctie zeer klein is, zal met R6 gelijk aan 100 kΩ aan deze voorwaarde voldaan worden.

De bouw van de schakeling

Na deze kristalheldere uiteenzetting onzerzijds en een paar uren huisvlijt uwerzijds is uw curvetracer klaar voor de proefvlucht. Aan de hand van de printtekening van figuur 4/7.44-4 op de laatste pagina van dit hoofdstuk en de componentenopstelling van figuur 4/7.44-5 moet de bouw inderdaad wel slagen.
De schakeling kunt u voeden uit een netstekkervoedinkje dat minimaal 9 V afgeeft. Deze spanning hoeft niet eens gestabiliseerd te zijn. Op de vijf printsoldeerlipjes, aan de rechter zijkant van de print, kunt u een transistorvoetje en de connectoren naar uw scope aansluiten.

7.44 Heel eenvoudige NPN transistor curvetracer



Figuur 4/7.44-5: De componentenopstelling van de print.

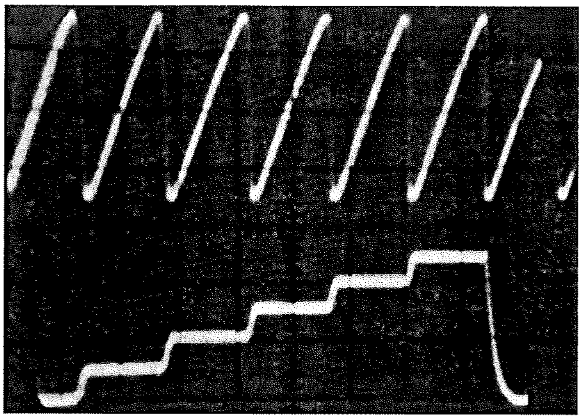
De tracer in de praktijk

Als alles is aangesloten wat moet worden aangesloten en de elektronische kijkkast is opgewarmd verschijnen de eerste karakteristieken op het groene scherm. Stel de gevoeligheidsregelaars van beide versterkers zodanig in dat de gehele bundel zichtbaar is en noteer de standen van de regelaars. Dit laat toe de assen eens en voor altijd te ijken.
Als uw scoop is voorzien van intensiteitsmodulatie, Z-as, onderdrukker of hoe ze deze functie nog allemaal meer noemen, kunt u deze reeds zo verfijnde schakeling nog wat meer sophisticated maken.
Gedurende de overgang van de ene karakteristiek naar de volgende doen er zich in de schakeling overgangsverschijnselen voor. Onder hun verderfelijke invloed gaat de spot dartele sprongen over uw scherm uitvoeren, wat het getoonde prentje minder fraai maakt. Dit is te verhelpen door de spot gedurende die overgangen te onderdrukken. U kunt hiervoor een van de uitgangen van de AMV gebruiken. Welke u nodig heeft hangt af van de inwendige schakeling van kathode en rooster in uw scoop. Op de print is deze uitgang reeds voorzien dank zij het printsoldeerlipje “IM” (van intensiteitsmodulatie).

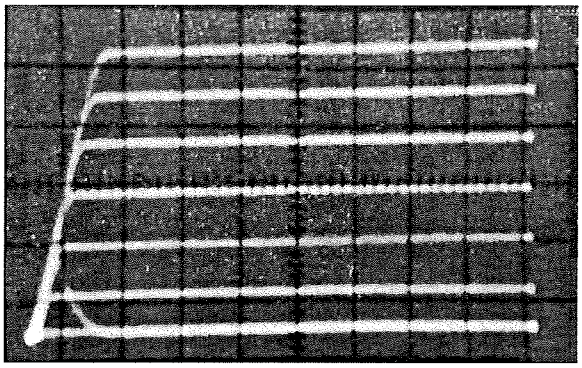
Resultaten

Tot slot toont figuur 4/7.44-6 u de twee door de schakeling opgewekte spanningsvormen. Dat u met dit schema geen nep in handen krijgt maar integendeel een produkt waarmee u in de beter gesitueerde kringen mag worden gezien bewijst figuur 4/7.44-7. De transistor was een BK2712 van Texas Instruments, equivalent van BC108.

7.44 Heel eenvoudige NPN transistor curvetracer

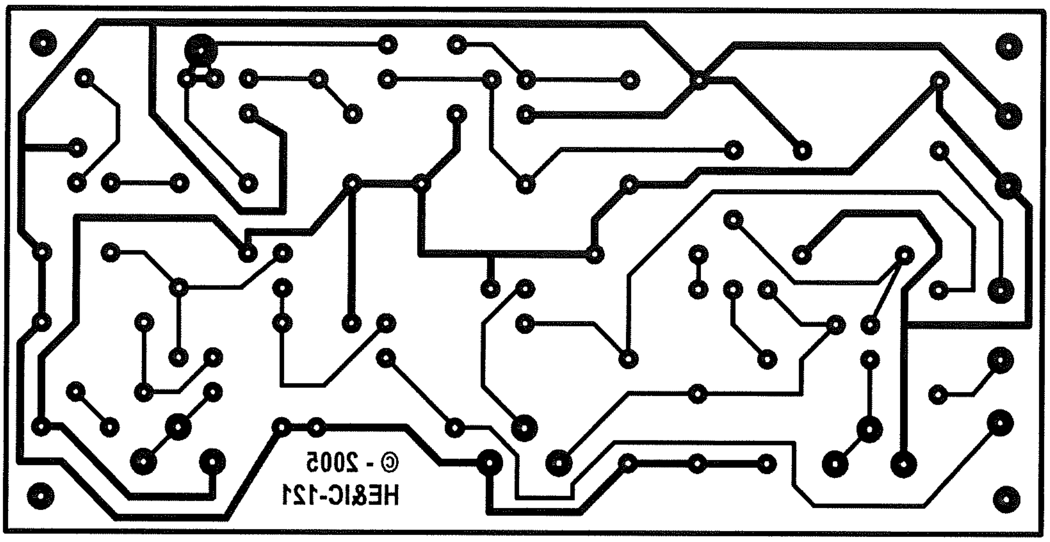


Figuur 4/7.44-6: De twee door de schakeling gegenereerde spanningsvormen.



Figuur 4/7.44-7: Uw transistor curve tracer in actie!

7.44 Heel eenvoudige NPN transistor curvetracer



Figuur 4/7.44-4: De print voor de schakeling.

HOE MAAKT U DEZE PRINT?

OPTIE 1: zelf maken

U scant deze pagina en drukt deze met een inkjet-printer af op A4 formaat op transparante folie. U knipt de print uit en belicht er de fotogevoelige printplaat mee.

OPTIE 2: via Internet

Op **www.hobbyelektronica.nu** selecteert u uit het linker menu de optie "Printservice". In het rechter venster selecteert u het hoofdstuknummer. U kunt nu de print als TIF-file downloaden. U opent deze file in een beeldbewerkingsprogramma en drukt deze met de op de Internet-pagina aangegeven afmetingen op transparante folie af. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

OPTIE 3: bestellen

U stuurt een **ONGEFRANKEERD** briefje naar Vego VOF, Antwoordnummer 30020, 6374 ED Landgraaf, met vermelding van het hoofdstuknummer. U krijgt per kerende post het printontwerpje op transparante folie **GRATIS** toegestuurd. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

7.44 Heel eenvoudige NPN transistor curvetracer

4/7.45

Eenvoudige testgenerator met vijf uitgangssignalen

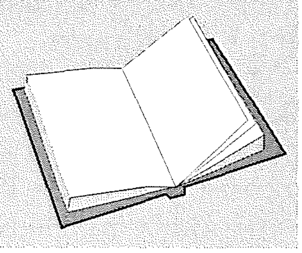
Inleiding
In dit hoofdstuk wordt een zeer eenvoudige testgenerator voor LF-gebruik beschreven, die vijf uitgangssignalen met één vaste frequentie van ongeveer 400 Hz levert. De beschikbare uitgangssignalen zijn:
- sinus;
- vierkant;
- puls;
- zaagtand;
- driehoek;

die allemaal dezelfde amplitude van 6 V hebben.
De schakeling is niet alleen een nuttig instrumentje voor al uw metingen in audio-apparatuur, maar bewijst hoe u met relatief eenvoudige middelen de ene spanningsvorm uit de andere kunt afleiden. De basis is namelijk een zaagtandgenerator en via wat eenvoudige principes worden de vier overige signaalvormen uit deze zaagtand afgeleid.
Bovendien is het schema uitgevoerd met "ouderwetse" componenten, die u nog wel ergens in de rommelbak heeft liggen. Zo eindigen uw transistoren hun bestaan nog op een nuttige manier.

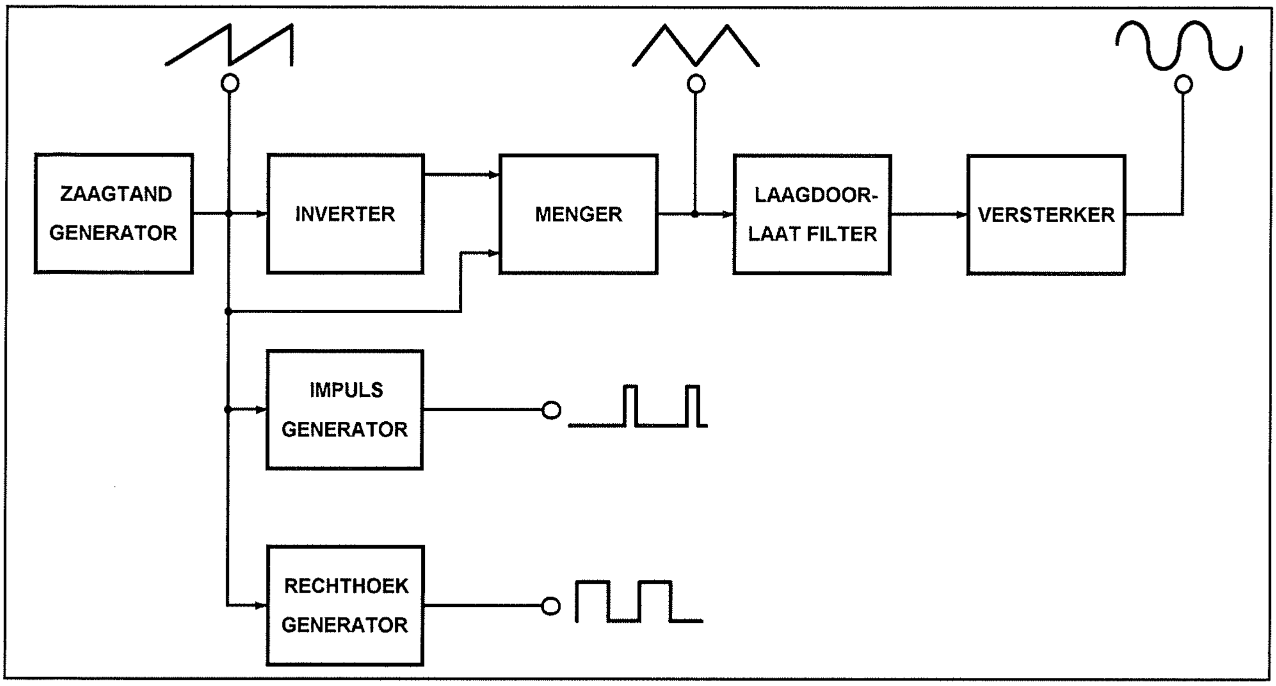
Het blokschema
In figuur 4/7.45-1 is het blokschema van de schakeling getekend. Basis van de testgenerator is een vrijlopende zaagtandgenerator, de frequentie is op 400 Hz ingesteld. Uit deze zaagtand worden alle andere spanningsvormen afgeleid.

- De driehoek
  Om de driehoek te vormen, wordt de zaagtand geïnverteerd. In een diodemenger wordt dit signaal gemengd met de originele zaagtand. Aan de uitgang van de menger ontstaat een driehoek met amplitude gelijk aan de helft van de zaagtandamplitude.
- De sinus
  Omdat het bij deze schakeling niet de bedoeling is de frequentie regelbaar te maken, kan de driehoek zeer eenvoudig in een sinus worden omgezet. Door een laagdoorlaat filter worden alle hogere harmonischen uit de driehoek gefilterd, zodat de grondsinus overblijft.

LEES OOK:
Hoofdstuk 4/7.11
Hoofdstuk 4/7.42



7.45 Eenvoudige testgenerator met vijf uitgangssignalen



Figuur 4/7.45-1: Het blokschema van de testgenerator.

- Puls
  Een smalle positieve impuls ontstaat door de zaagtand te differentiëren.
- Vierkant
  De vierkantspanning wordt gevormd door een transistor gedurende de tweede helft van de zaagtandperiode in verzadiging te sturen.

Hoe al deze spanningstransformaties worden uitgevoerd, kunt u aan de hand van het schema van figuur 4/7.45-2 en de oscilloscoopfoto's volgen.

De voedingsspanning is op 24 V vastgesteld. Hierdoor is het mogelijk probleemloos voldoende grote uitgangsspanningen op te wekken.

De schakelingen zijn zo gedimensioneerd, dat de amplitude van alle uitgangen 6 V bedraagt.

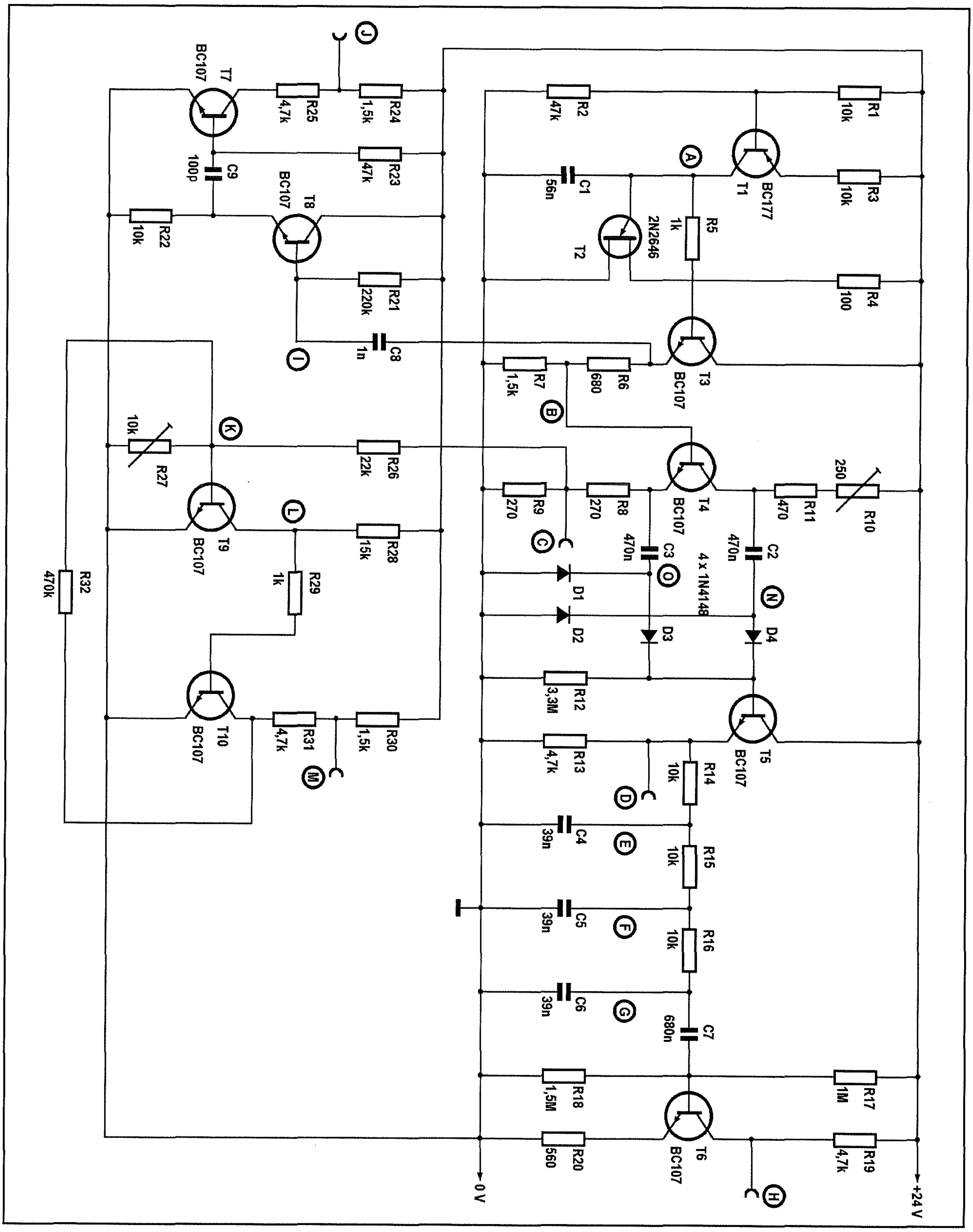
De zaagtandgenerator

Deze schakeling is opgebouwd rond de transistoren T1 en T2. T1 is een constante stroombron. De basis is door de spanningsdeler R1-R2 ingesteld op een vaste spanning. Door de transistor gaat een stroom vloeien. Deze stroom zal zich zo instellen dat over de emitterweerstand R3 een spanning ontstaat, gelijk aan de basisspanning minus 0,7 V. Omdat de basisspanning constant blijft, zal ook het emitterpotentiaal constant zijn en bijgevolg eveneens de stroom door de transistor.

Condensator C1 wordt opgeladen door deze constante stroom, gevolg is dat de condensatorspanning lineair (= zaagtandvormig) zal toenemen. Na een bepaalde tijd wordt de condensatorspanning groter dan de ontsteekspanning van de uni-junction-transistor T2. Deze geleidt, waardoor de condensator zeer snel ontladen wordt.

Besluit is, dat op punt A een zaagtandspanning ontstaat. De frequentie wordt bepaald door de instelling van transistor T1. Om de lineariteit van de gevormde zaagtand niet aan te tasten, wordt de

7.45 Eenvoudige testgenerator met vijf uitgangssignalen



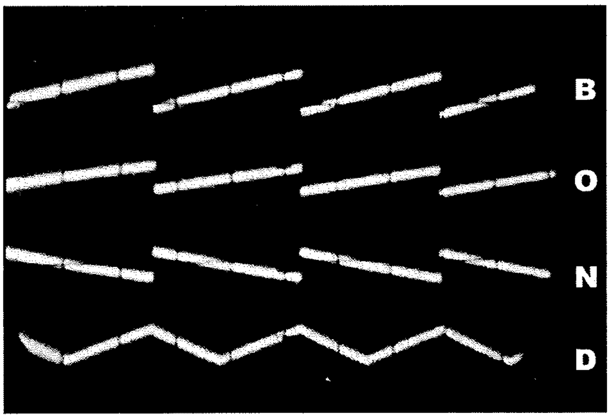
Figuur 4/7.45-2: Het volledig schema van de eenvoudige testgenerator.

7.45 Eenvoudige testgenerator met vijf uitgangssignalen

condensator afgesloten met een emittervolger T3.

De driehoekgenerator

Een deel van de zaagtand, afgenomen van de emitter van T3, stuurt de invertertrap T4. Bedoeling is, dat twee even grote zaagtanden ontstaan, maar met tegengestelde hellingen. De signalen op de emitter en de collector zullen aan die eis voldoen, als de emitter- en collectorweerstanden aan elkaar gelijk zijn (R8 + R9 = R10 + R11). Dit kan met de instelpotentiometer R10 ingesteld worden. Als de spanning op punt B nul is, vloeit geen stroom door transistor T4. De emitterspanning is nul, de collector staat op voedingspotentiaal. Stijgt de spanning op de basis, dan neemt de stroom door de transistor evenredig toe. Er ontstaat een gelijke spanningsval over de weerstanden, zodat het emitterpotentiaal stijgt en dat op de collector afneemt.
Gevolg is dat op de emitter een stijgende en op de collector een even grote dalende zaagtand ontstaat. Punt C is de eerste uitgang van de generator. Hier staat een zaagtand van 6 V ter beschikking. Om uit beide zaagtanden een driehoek te maken, moeten de zaagtanden hetzelfde gemiddelde gelijkspanningspotentiaal voeren. Het eenvoudigst is, om ze beide op massapotentiaal te clampen. Dit gebeurt door de netwerken C2-D2 en C3-D1. De dioden verhinderen dat de spanningen op de punten N en O negatief worden.
De driehoek ontstaat over de weerstand R12. Hierbij wordt verwezen naar figuur 4/7.45-3, waar dit omvormingsproces in beeld is gebracht. Bij het begin van de zaagtandperiode is de spanning op punt N groter dan die op punt O. Diode D4 geleidt en diode D3 spert. De spanning op punt N verschijnt over de weerstand R12. Dit blijft zo, tot de spanningen op punten N en O aan elkaar gelijk worden. Omdat beide zaagtanden even groot zijn, gebeurt dit op de helft van de periode.
Gedurende de tweede periodehelft is de spanning op O groter dan de spanning op N. Gevolg is dat D3 geleidt en D4 spert. De spanning over weerstand R12 volgt nu de spanning van punt O. Als u in figuur 4/7.45-3 de spanningen N en O op elkaar projecteert, wordt het duidelijk dat over de weerstand een driehoek ontstaat, waarvan de amplitude gelijk is aan de helft van de zaagtandamplitude.
De emittervolger T5 maakt de driehoek geschikt voor de sturing van de volgende schakelingen.
Op punt D vindt u de driehoek terug met een amplitude van 6 V. De weerstand R10 wordt afgeregeld op minimale vervorming van de hoeken van de driehoek.



Figuur 4/7.45-3: Het omzetten van een zaagtand in een driehoek door eerst te inverteren en nadien te sommeren.

De sinusgenerator

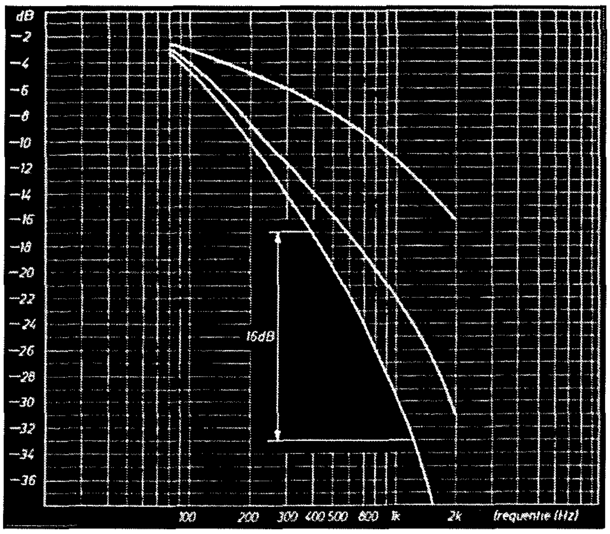
In functiegeneratoren, waar de frequentie over een breed gebied regelbaar is,

7.45 Eenvoudige testgenerator met vijf uitgangssignalen

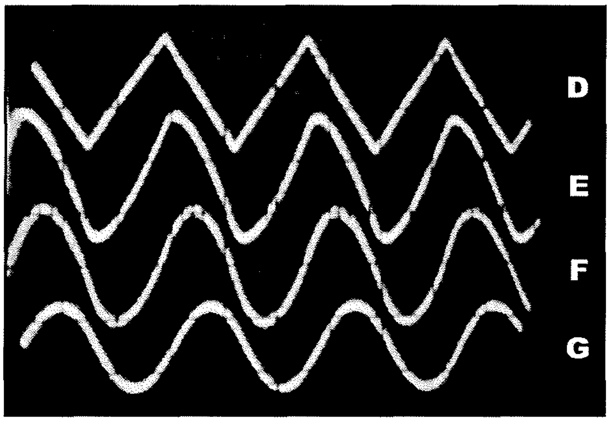
zijn gecompliceerde diode-weerstand netwerken nodig om de driehoekspanning om te vormen in een sinus.
Omdat de frequentie van deze generator constant is wordt het probleem hier tamelijk eenvoudig. Uit de theoretische elektriciteitsleer weet u dat ieder wisselspanningssignaal opgebouwd is uit sinussen van de harmonischen met frequenties die een veelvoud zijn van de basisfrequentie. De amplitude van deze signalen neemt zeer snel af. De driehoekspanning van de generator is bijgevolg opgebouwd uit:

- een sinus van 400 Hz met amplitude V;
- een sinus van 1.200 Hz met amplitude V/9;
- een sinus van 2.000 Hz met amplitude V/25;
- een sinus van 2.800 Hz met amplitude V/49;

De hogere harmonischen kunnen verwaarloosd worden.
Het moet dus mogelijk zijn de fundamentele sinus uit het signaal te filteren, door dit laatste door een scherp afsnijdend laagdoorlaat filter te sturen. In de schakeling is dit filter opgebouwd uit drie RC-secties. De netwerken R14-C4, R15-C5 en R16-C6 vormen ieder een klassiek passief laagdoorlaat filter. De verschillende doorlaatkarakteristieken zijn in figuur 4/7.45-4 weergegeven. Daaruit blijkt dat na drie secties de derde harmonische met 16 dB wordt onderdrukt.
Uit figuur 4/7.45-5 volgt duidelijk hoe de driehoek door de drie filters in een sinus wordt omgezet. Bovendien bemerkt u de faseverschuiving, veroorzaakt door de filters. De vier signalen zijn niet op schaal, de spanning D is veel groter dan de spanning G.



Figuur 4/7.45-4: De doorlaatcurve van een, twee en drie RC laagdoorlaat filters.



Figuur 4/7.45-5: Het omzettingsproces van driehoek in sinus overzichtelijk in beeld gebracht. Let op de door de filters veroorzaakte faseverschuivingen!

Uiteraard is de gevormde sinus niet helemaal vrij van harmonische smetten. Voor de meeste toepassingen is de sinus evenwel zuiver genoeg. Het signaal werd door middel van de Lissajous-methode vergeleken met de sinus van een zeer goede sinusgenerator. De op het scherm gevormde ellips werd door verschillende kritische toeschouwers voor vervor-

7.45 Eenvoudige testgenerator met vijf uitgangssignalen

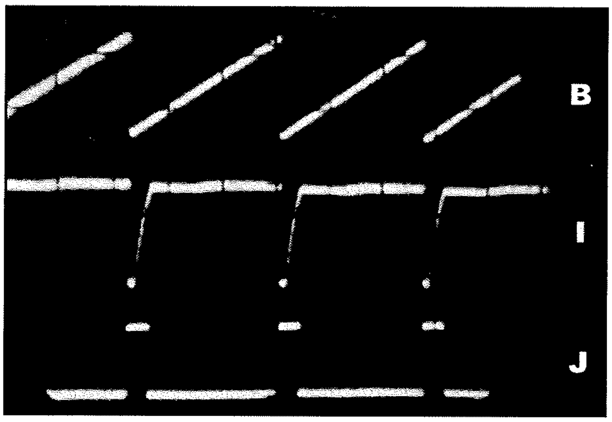
mingsvrij verklaard, wat een aanwijzing is voor de kwaliteit van de op deze eenvoudige manier gegenereerde sinus.
Omdat de laagdoorlaat filters een aanzienlijke verzwakking van het signaal tot gevolg hebben, moet een versterker worden ingeschakeld. Transistor T6 vormt een sterk tegengekoppelde versterkertrap, die de amplitude van de sinus oppept tot de gewenste 6 V.

De pulsgenerator

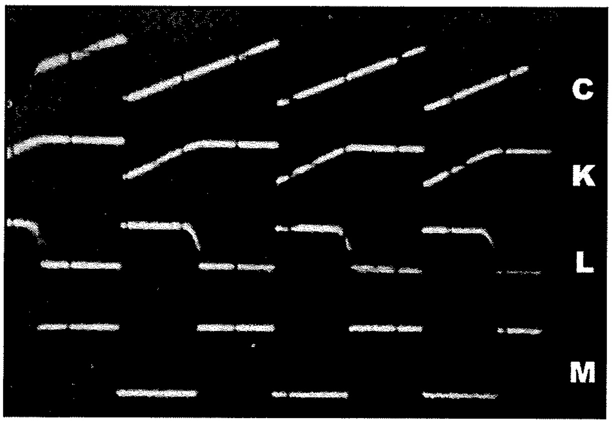
Voor het opwekken van de pulsspanning wordt van het principe uitgegaan, dat de differentiaal van een lineair stijgende functie een constante is. De schakeling is opgebouwd rond de transistoren T7 en T8 en wordt verduidelijkt aan de hand van figuur 4/7.45-6. De zaagtandspanning (= lineair stijgende functie) op de emitter van T3 wordt gedifferentieerd door het netwerk C8-R21. Tijdens de zaagtand blijft de spanning over R21 (punt I) constant. De snelle spanningssprong bij het begin van de volgende periode wordt evenwel door de condensator doorgekoppeld. Gevolg is dat op de basis van T8 negatief gerichte impulsen ontstaan.
Transistor T7 is normaal in verzadiging gestuurd via de weerstand R23. De negatieve impulsen van de emitter van T8 sturen evenwel T7 kortstondig in sper. Het ontstaan van een smalle positieve puls op de collector is het gevolg. De spanningsdeler R24-R25 zorgt ervoor dat op punt J de amplitude van de puls tot de gewenste 6 V is gereduceerd.

De vierkantgenerator

De vierkantgolf wordt eveneens rechtstreeks van de zaagtand afgeleid. Zoals u weet geleidt een siliciumtransistor met geaarde emitter, als zijn basisspanning groter wordt dan 0,7 V. Als de amplitude van de zaagtand gereduceerd wordt tot 1,4 V en aangeboden aan de basis van een transistor, zal op de collector een vierkantspanning ontstaan.



Figuur 4/7.45-6: Het omzetten van de zaagtand in een smalle positieve puls.



Figuur 4/7.45-7: Het omzetten van een zaagtand in een vierkantspanning.

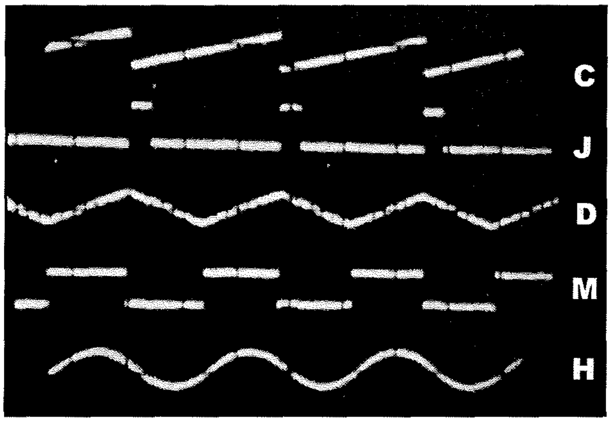
Een en ander is op figuur 4/7.45-7 verduidelijkt. De spanningsdeler R26-R27 zwakt de zaagtand tot de gewenste waarde af. Op de foto is duidelijk merkbaar hoe de basisspanning K van transistor T9 gedurende de eerste helft van de periode kleiner blijft dan 0,7 V. De transistor spert en de collectorspanning is hoog.

7.45 Eenvoudige testgenerator met vijf uitgangssignalen

Gedurende de tweede periodehelft wordt de basis gestuurd, de basisspanning stabiliseert zich op de 0,7 V geleidingsspanning van de basis-emitter junctie. De transistor geleidt en de collectorspanning L wordt nul. Uiteraard duurt het even alvorens de transistor helemaal verzadigd is. Vandaar de slechte achterflank van signaal L. Een tweede trap met transistor T10 vangt dit euvel op. Bovendien bezorgt een bescheiden meekoppeling via weerstand R32 het uitgangssignaal de gewenste snelle flanken.
De spanningsdeler R30-R31 in de collector zorgt weer voor de gestandaardiseerde 6 V uitgangsamplitude. Met potentiometer R27 wordt de symmetrie van de blokgolf ingesteld.

Besluit
Op figuur 4/7.45-8 zijn de vijf uitgangsspanningen van de testgenerator broederlijk verenigd.
Met de ontwikkeling van deze schakeling is aangetoond, dat het transformeren van een zaagtand in de meest uiteenlopende spanningsvormen niet ingewikkeld hoeft te zijn. Voorwaarde is wel, dat de frequentie constant blijft.

Experimenteren met muziek
Bij het experimenteren met elektronische muziekschakelingen kan deze testschakeling praktische diensten bewijzen. Inderdaad heeft iedere spanningsvorm een specifieke klankkleur, dit wordt veroorzaakt door de sterk uiteenlopende harmonische inhoud van de golfvormen.
Zoals reeds geschreven bevat de driehoek alleen oneven harmonischen met kleine amplitudes. De vierkant bevat eveneens alleen oneven harmonischen, maar wel met grotere amplitudes. De



Figuur 4/7.45-8: De vijf uitgangsspanningen van deze testgenerator broederlijk verenigd.

zaagtand is opgebouwd uit even en oneven harmonischen. De amplitude van deze signalen neemt ongeveer exponentieel af. De pulsvormige spanning bevat zeer veel en zeer sterke harmonischen. Bij het experimenteren met klankfilters voor het elektronisch nabootsen van muziekinstrumenten, kan deze generator dus met succes worden gebruikt.

De bouw van de schakeling
In figuur 4/7.45-9 is het printontwerpje van deze schakeling getekend, de componentenopstelling is voorgesteld in figuur 4/7.45-10.
Meer dan dát valt er over de nabouw van deze zeer eenvoudige generator niet te melden!

Verder experimenteren
Door toevoeging van de schakeling van figuur 4/7.45-11 kunt u theoretisch een oneindig aantal spanningsvormen genereren. De schakeling is een eenvoudige weerstandsmenger. De vijf uitgangen van de testgenerator sturen instelpotentiometers. De lopers van deze onderdelen zijn via weerstanden verbonden met de basis van een emittervolger.

7.45 Eenvoudige testgenerator met vijf uitgangssignalen

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %

Onderdeel	Waarde
R1,R3,R14,R15,R16,R22	10 kΩ
R2,R23	47 kΩ
R4	100 Ω
R5,R29	1 kΩ
R6	680 Ω
R7,R24,R30	1,5 kΩ
R8,R9	270 Ω
R11	470 Ω
R12	3,3 MΩ
R13,R19,R25,R31	4,7 kΩ
R17	1 MΩ
R18	1,5 MΩ
R20	560 Ω
R21	220 kΩ
R26	22 kΩ
R28	15 kΩ
R32	470 kΩ

INSTELPOTENTIOMETERS, STAAND, 10 x 5 mm

Onderdeel	Waarde
R10	250 Ω
R27	10 kΩ

CONDENSATOREN

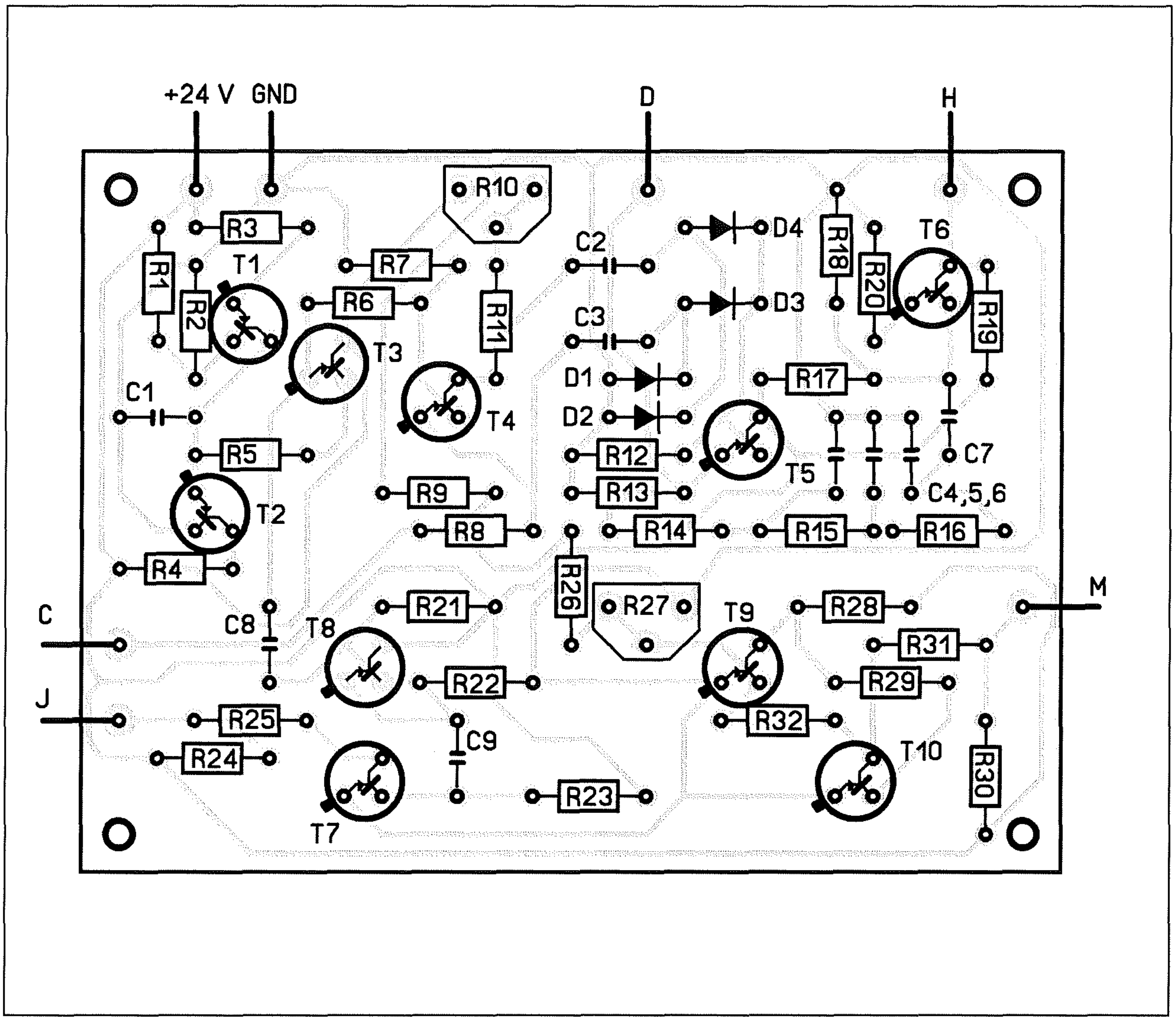
Onderdeel	Waarde	Type
C1	56 nF	MKH
C2,C3	470 nF	MKH
C4,C5,C6	39 nF	MKH
C7	680 nF	MKH
C8	1 nF	MKH
C9	100 pF	ceramisch

HALFGELEIDERS

Onderdeel	Type
D1,D2,D3,D4	1N4148
T1	BC177
T2	2N2646
T3,T4,T5,T6,T7,T8,T9,T10	BC107

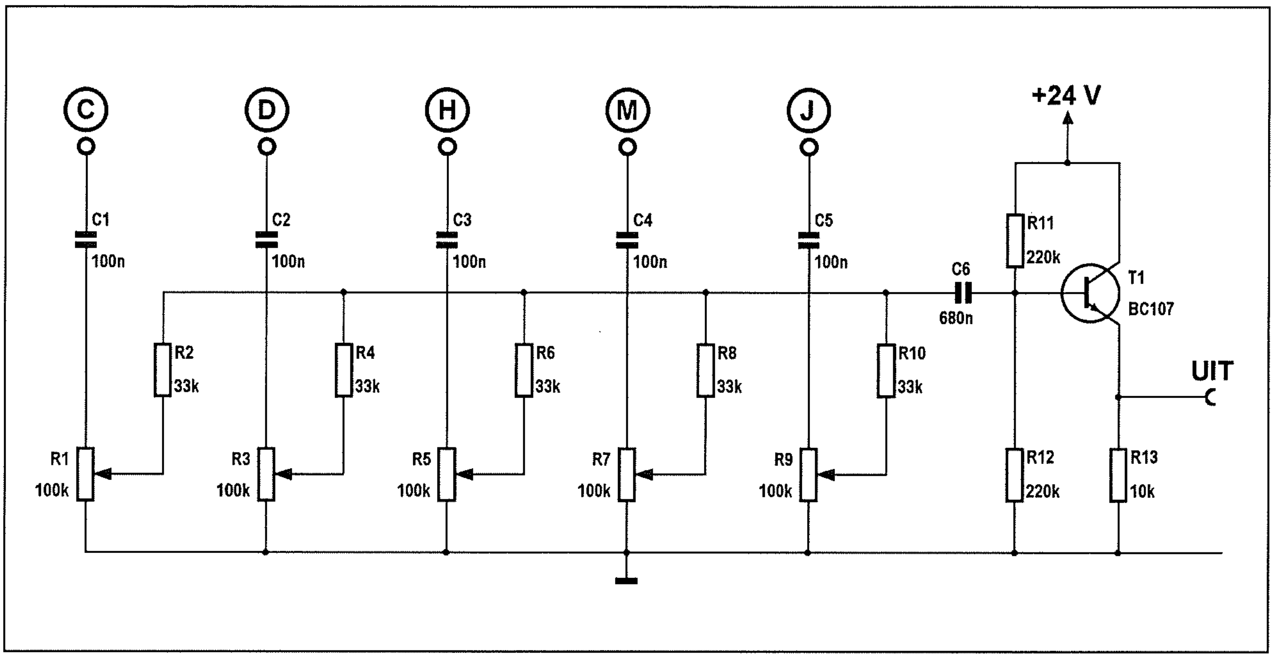
Op de emitter verschijnt de algebraïsche som van de gemengde signalen. Door het aandeel van de verschillende uitgangen met de potentiometers telkens anders in te stellen, ontstaan de meest vreemdsoortige spanningen.
In figuur 4/7.45-12 zijn zes op deze wijze gevormde spanningen afgebeeld.

7.45 Eenvoudige testgenerator met vijf uitgangssignalen

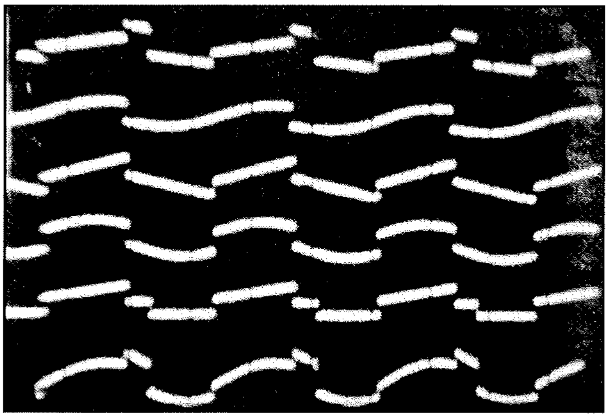


Figuur 4/7.45-10: De componentenopstelling.

7.45 Eenvoudige testgenerator met vijf uitgangssignalen

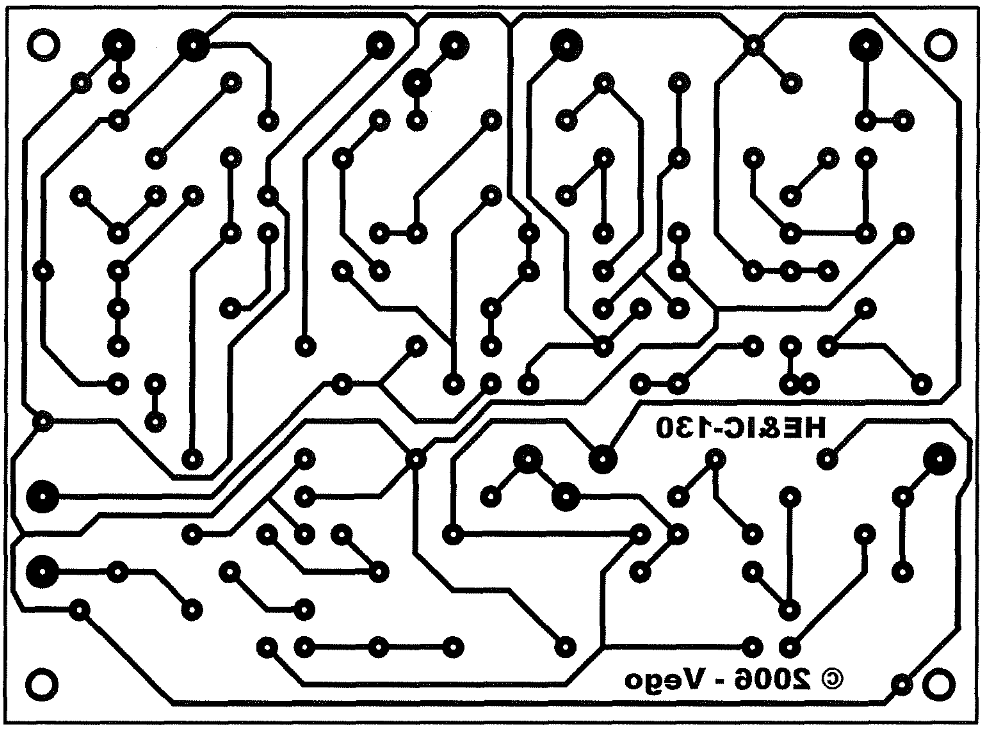


Figuur 4/7.45-11: Met deze mengeenheid achter de testgenerator geschakeld, kunt u de vreemdste spanningsvormen genereren.



Figuur 4/7.45-12: Zes voorbeelden van mogelijke uitgangsspanningen van de schakeling van figuur 4/7.45-11.

7.45 Eenvoudige testgenerator met vijf uitgangssignalen



Figuur 4/7.45-9: Het printontwerpje van de testgenerator.

HOE MAAKT U DEZE PRINT?

OPTIE 1: zelf maken

U scant deze pagina en drukt deze met een inkjet-printer af op A4 formaat op transparante folie. U knipt de print uit en belicht er de fotogevoelige printplaat mee.

OPTIE 2: via Internet

Op **www.hobbyelektronica.nu** selecteert u uit het linker menu de optie "Printservice". In het rechter venster selecteert u het hoofdstuknummer. U kunt nu de print als TIF-file downloaden. U opent deze file in een beeldbewerkingsprogramma en drukt deze met de op de Internet-pagina aangegeven afmetingen op transparante folie af. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

OPTIE 3: bestellen

U stuurt een **ONGEFRANKEERD** briefje naar Vego VOF, Antwoordnummer 30020, 6374 ED Landgraaf, met vermelding van het hoofdstuknummer. U krijgt per kerende post het printontwerpje op transparante folie **GRATIS** toegestuurd. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

7.45 Eenvoudige testgenerator met vijf uitgangssignalen